

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE MONÓXIDO DE
CARBONO EN BASE A LA NORMA EM.030 (2020) DEL
EDIFICIO MULTIFAMILIAR “ALMUDENA” - LIMA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR LA BACHILLER
CÁRDENAS HONORES, HELEN KATHERINE

ASESOR
PÁEZ APOLINARIO, ELISEO

Villa El Salvador
2021

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Armando y Nancy; por creer en mí y darme la oportunidad de una formación profesional.

A mi familia; por todo el apoyo incondicional que he recibido en cada paso de mi vida.

A Manuel; mi compañero de vida.

Y a Héctor Adrián; mi querido niño.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a nuestro padre celestial por darme la fuerza para poder culminar esta etapa de mi vida profesional.

A mi querida Universidad, mi alma mater que me brindo la posibilidad de convertirme en una profesional.

Al magister Eliseo Páez Apolinario, mi asesor, que fue el encargado de dirigirme en la finalización y sustentación del presente trabajo de suficiencia profesional.

ÍNDICE

RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I	
Aspectos generales.....	1
1.1 Contexto	1
1.2 Delimitación temporal y espacial del trabajo.....	1
1.2.1 Delimitación temporal.....	1
1.2.2 Delimitación espacial.....	2
1.3 Objetivos.....	4
CAPÍTULO II	
Marco teórico	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.1.1 Antecedentes nacionales	5
2.1.2 Antecedentes internacionales	7
2.2 Bases teóricas	9
2.2.1 Flujo másico y volumétrico	9
2.2.2 Densidad del fluido.....	9
2.2.3 Gas contaminante monóxido de carbono (CO)	10
2.2.4 Estacionamientos en sótanos	10
2.2.5 Equipamiento de la infraestructura mecánica para el sistema de extracción de monóxido de carbono.....	11
2.2.6 Eliminación de monóxido de carbono en sótanos	13
2.3 Definición de términos básicos	14
2.3.1 Simulación CFD	14
2.3.2 Infraestructura mecánica.....	15
2.3.3 Caudal de aire.....	16
2.3.4 Caída de presión.....	16
2.3.5 Jet Fan	16

2.4	Definición de términos básicos	17
CAPÍTULO III		
	Desarrollo del trabajo profesional.....	21
3.1	Determinación y análisis del problema	21
3.1.1	Parámetros de cálculo.....	23
3.1.2	Instrumento de medición	23
3.1.3	Metodología empleada.....	23
3.1.4	Ubicación de montantes de inyección y extracción.....	29
3.1.5	Ubicación y cantidad de los sensores de monóxido de carbono	30
3.1.6	Ubicación y cantidad de tableros de control y fuerza	31
3.1.7	Especificaciones técnicas de ductos metálicos y rejillas	31
3.1.8	Especificaciones técnicas de jet fan.....	32
3.2	Modelo de solución propuesto	32
3.2.1	Calculo de caudales de diseño	32
3.2.2	Cálculo de caídas de presión	35
3.2.3	Determinación de caída de presión del equipo de inyección ...	36
3.2.4	Cálculo de potencia eléctrica	37
3.2.5	Determinación de la ubicación y cantidad de sensores de monóxido de carbono.....	38
3.2.6	Determinación de la ubicación y cantidad de tableros de fuerza y control.....	40
3.2.7	Simulación CFD	44
3.3	Resultados.....	60
3.3.1	Diseño preliminar del proyecto.....	60
3.3.2	Sistema Actualizado Según EM.030.	61
	Conclusiones.....	64
	Recomendaciones	65
	Referencias Bibliográficas.....	66

Anexos 69

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1.Plano de ubicación del edificio multifamiliar “Almudena”	2
Figura 1.2.Plano de elevación del edificio Almudena	3
Figura 2.1.Flujo volumétrico	9
Figura 2.2.Ventilador centrifugo tipo jet fan	12
Figura 2.3.Ventilador centrifugo tipo jet fan	12
Figura 2.4.Ventilador de impulsión tipo jet fan.....	12
Figura 2.5.Equipo axial directo para montaje en pared	13
Figura 2.6.Filosofía de las tres dimensiones para la dinámica de fluidos computacional	15
Figura 2.7.Simulación del campo vectorial de velocidad del flujo de aire de un recinto.....	15
Figura 3.1.Infraestructura mecánica 2° sótano.....	24
Figura 3.2.Montante de extracción	29
Figura 3.3.Montante de inyección	30
Figura 3.4.Radio de alcance para los sensores de monóxido de carbono en el segundo sótano.....	39
Figura 3.5.Radio de alcance para los sensores de monóxido de carbono en el primer sótano	40
Figura 3.6. Ubicación de tableros eléctricos en el segundo sótano.....	41
Figura 3.7. Ubicación de tableros eléctricos en el primer sótano	42
Figura 3.8.Radio de alcance para los sensores de monóxido de carbono en el segundo sótano.....	43
Figura 3.9.Características electromecánicas del equipo extractor	46
Figura 3.10.Efectos de la concentración de monóxido de carbono	47
Figura 3.11.Condiciones iniciales de 50% aire y 50% monóxido de carbono en el sótano.....	49
Figura 3.12.Solidworks Flow Simulation.....	50
Figura 3.13.Requisitos previos de sistema para Solidworks 2018	50
Figura 3.14.Datos del equipo computador donde se realizó la simulación.....	51
Figura 3.15.Disposición de los Jet Fan en el sótano 01 del edificio “Almudena” ..	52
Figura 3.16.Disposición de los Jet Fan en el sótano 02 del edificio “Almudena” ..	53

Figura 3.17.Simulación en 0 segundos	54
.Figura 3.18.Simulación en 450 segundos	55
Figura 3.19.Simulación en 900 segundos	56
Figura 3.20.Simulación en 0 segundos	57
Figura 3.21.Simulación en 450 segundos	58
Figura 3.22.Simulación en 900 segundos	59
Figura 3.23.Diagrama en 3D de la configuración de los equipos, y análisis preliminar de los dardos de operación del sistema en el sótano 01	62
Figura 3.24.Diagrama en 3D de la configuración de los equipos, y análisis preliminar de los dardos de operación del sistema en el sótano 02	63

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1. Condiciones de diseño para estacionamientos	11
Tabla 3.1. Cálculo de los extractores mediante el método renovaciones por hora	32
Tabla 3.2. Cálculo de los extractores mediante el método velocidad del fluido.....	33
Tabla 3.3. Cálculo de los extractores mediante el método de valores ASHRAE ...	33
Tabla 3.4. Cálculo de los inyectores mediante el método renovaciones por hora.	34
Tabla 3.5. Cálculo de los inyectores mediante el método velocidad del fluido	34
Tabla 3.6. Cálculo de los inyectores mediante el método de valores ASHRAE	35
Tabla 3.7. Cálculo de caída de presión total para el equipo extractor	36
Tabla 3.8. Cálculo de caída de presión total	37
Tabla 3.9. Cálculo de potencia	38
Tabla 3.10. Características electromecánicas de los equipos Jet Fan.....	45
Tabla 3.11. Características electromecánicas del equipo inyector	45
Tabla 3.12. Características electromecánicas del equipo extractor	45
Tabla 3.13. Cálculo mayor de caudal por el método ASHRAE.....	61
Tabla 3.14. Cuadro de equipos Actualizados	62

RESUMEN

Los sistemas de extracción de monóxido de carbono, cumplen un rol primordial en la evacuación de gases tóxicos que se asientan en los sótanos de recintos cerrados. Para ello, el tener normas actualizadas a las necesidades y coyunturas que se están presentando en la sociedad, hace que dichas normas y reglamentos de estos sistemas cambien sus requerimientos de diseño para poder brindar un buen performance basado en sus códigos y que luego serán instalados para el uso de los futuros usuarios.

El presente trabajo de investigación representa la distribución de la infraestructura mecánica diseñada para el sistema de ventilación mecánica para el sistema de extracción de monóxido de carbono en donde se encuentran los equipos de ventilación por impulsión a través de los equipos jet fan, equipos extractores y equipos inyectores que fueron distribuidos en los 02 sótanos del edificio multifamiliar.

El objetivo de este presente estudio es validar el sistema de extracción de monóxido de carbono que se encuentra en los sótanos del edificio Almudena, a través de un recalcu con los parámetros actuales del R.N.E. y una simulación CFD. Con este fin, la pregunta de investigación es la siguiente:

¿Qué acción se realizará para indicar la viabilidad del sistema de extracción de monóxido de carbono y la infraestructura mecánica del edificio? En este contexto, el sistema de extracción de monóxido de carbono es medida de acuerdo a la distribución física de la infraestructura mecánica y relacionada a la viabilidad de la misma.

La pregunta de investigación se responde a través de un tipo de diseño experimental que busca validar los parámetros iniciales de diseño con la norma R.N.E actualizada y simularla en un software de diseño computacional CFD. Estos en primera instancia, se realizarán a través de una validación de datos y cálculos, normados con la actual norma cuya última versión es del año 2020., seguido de la validación de los datos obtenidos y las comparativas de cálculo, se reajustará los

nuevos valores obtenidos de dichos cálculos y se colocaran en los nuevos parámetros de diseño del sistema de extracción de monóxido de carbono.

Finalmente, un estudio de simulación CFD al sistema de extracción de monóxido de carbono nos arrojará niveles promedio de concentración de monóxido de carbono.

Los resultados muestran que el recalcular de los parámetros de diseño y su posterior simulación CFD, nos arroja un sistema viable que tendrá un mejor performance en su futura instalación. Estos resultados indican que estos pasos contribuyen a un mejor entendimiento y seguridad que dicho sistema es aplicable en bienestar de los futuros usuarios.

Teniendo esto en cuenta, se recomienda que se debe estar siempre a la par de las actualizaciones de las normas de diseño como ejemplo tenemos que se están solicitando simulaciones para sustentar los sistemas de ventilación de manera dinámica. Se podría también realizar un estudio a profundidad de las características de los equipos jet fan para evaluar su dardo de acción asimismo como los equipos inyectores y extractores que arrojarían un mejor resultado para la ubicación de montantes de dichos sistemas, áreas de abarcamiento, etc.

Palabras clave: Sistema ventilación, monóxido de carbono, jet fan, sótanos.

INTRODUCCIÓN

Un sistema de extracción de monóxido de carbono tiene por objetivo lograr la baja concentración de monóxido de carbono en los sótanos de estacionamientos de edificios comerciales, viviendas multifamiliares, entre otros.

El monóxido de carbono es un gas que se origina por la inadecuada combustión de la gasolina y petróleo que son emitidos por los autos y que se encuentran en los estacionamientos, los cuales al estar dentro de áreas cerradas como son los sótanos van acumulando altas cantidades de este gas que son peligrosos para el ser humano y pueden causar intoxicación e incluso la muerte. Por ello la importancia de la evacuación de este gas contaminante en altas concentraciones, mediante un sistema mecanizado electromecánicamente para evitar menoscabo a los ocupantes que se encuentren en los sótanos en todo momento.

El presente trabajo de investigación ha sido fraccionado en capítulos , en los cuales se describen el desarrollo de un sistema de extracción de monóxido mediante equipos ventiladores por impulsión en los 02 sótanos de estacionamientos del edificio multifamiliar “Almudena” ,para obtener mínimos niveles de concentración de monóxido de carbono en los sótanos y en base a este sistema se procedió a validar sus rangos de diseño con respecto a la norma actual vigente del Reglamento Nacional de edificaciones de Perú .

Capítulo I: En este capítulo, se desarrolla los aspectos generales como el contexto, delimitación temporal y espacial y objetivos del presente proyecto de investigación.

Capítulo II: Se enuncian en este capítulo los antecedentes nacionales e internacionales, bases teóricas y formulación de términos básicos que se amplían en el proyecto de investigación y brindan un enfoque general para el entendimiento del objetivo del presente proyecto de investigación.

Capítulo III: Se comprueba en este capítulo, que el presente trabajo de investigación tiene los parámetros de cálculo actualizados y se realizarán mejoras en el sistema de extracción de monóxido de carbono en caso se amerite, y que luego finalmente será estudiado mediante una simulación CFD en un software técnico.

CAPÍTULO I

Aspectos generales

1.1 Contexto

El presente proyecto de investigación del sistema de extracción de monóxido de carbono del edificio “Almudena”, tiene la responsabilidad de cumplir con los parámetros actuales del Reglamento Nacional de edificaciones, cuya última modificación se realizó en el año 2020, siendo alguna de ellas:

a) El sistema mecánico de impulsión de aire se debe instalar en la parte superior lo más cercano al techo, la ubicación de la extracción debe ser definida por el Proyectista. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020, pág. 24)

b) Los ventiladores de impulsión, tales como los ventiladores tipo JET FAN, pueden ser utilizados como parte del sistema de ventilación y deben sustentarse por medio de un software especializado que no permita la recirculación de humos y gases. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020, pág. 23)

c) Para la ventilación de un estacionamiento en sótanos se debe contar con un sistema mixto de inyección y extracción de aire. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020, pág. 23)

Y también convendrá en cumplir la ideología del proyecto, que busca un “equilibrio en la economía” del futuro propietario con prestaciones eco sostenibles mediante el ahorro de energía en los sistemas que se emplazarán a futuro, especialmente el sistema de extracción de monóxido de carbono del edificio multifamiliar.

1.2 Delimitación temporal y espacial del trabajo

1.2.1 Delimitación temporal

De agosto del 2021 hasta diciembre del 2021, se realizó la validación del diseño para el sistema de extracción de monóxido de carbono del edificio “Almudena” con

la actual norma vigente y su posterior simulación con la verificación de los resultados obtenidos previamente.

1.2.2 Delimitación espacial

El edificio multifamiliar Almudena será un conglomerado de 63 departamentos de uso familiar, el cual comprenderá 02 sótanos que contarán con 27 estacionamientos, 16 pisos, azotea y techo

Estará ubicado en la Avenida PIO XII 345, esquina Calle Martí, urbanización Maranga, distrito de San Miguel, provincia de Lima, departamento de Lima, Perú.

Contará con un área de 450.05 m² con avenidas principales, parques y centros comerciales.



Figura 1.1. Plano de ubicación del edificio multifamiliar "Almudena"

Fuente: Ecohabitat Desarrollo Inmobiliario S.A.C.

1.3 Objetivos

Diseñar del sistema de extracción de monóxido de carbono en base a la norma EM.030 (2020) del edificio “Almudena” – Lima en el periodo agosto – diciembre del 2021.

Evaluar el sistema de extracción de monóxido de carbono calculado con la norma EM.030 (2016) versus los cálculos establecidos por la norma EM.030 (2020) en el edificio multifamiliar “Almudena” – Lima en el periodo agosto – diciembre del 2021.

Visualizar mediante la simulación CFD el comportamiento del fluido del sistema de extracción de monóxido de carbono, utilizando los cálculos obtenidos según la norma EM.030 (2020) del edificio multifamiliar “Almudena” – Lima en el periodo agosto – diciembre del 2021.

CAPÍTULO II

Marco teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes nacionales

Remón Zavaleta, M.C.A. (2016), *Sistema de extracción de monóxido de carbono para estacionamientos en los sótanos del edificio corporativo Panorama*. [Tesis de grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional – UNMSM; manifiesta en sus conclusiones que:

El diseño del sistema de ventilación mixta, el cual consiste de un sistema de extracción de monóxido y un sistema de inyección de aire fresco, para tener una óptima distribución de aire por el interior del estacionamiento, permitiendo llegar a todos los rincones de los estacionamientos de Sótanos del Edificio Panorama Plaza Negocios, y así mantener la concentración del monóxido de carbono en el límite permisible de 35 ppm, evitando el daño en la salud de las personas que transiten estos ambientes. Se definió dos áreas una de sobrepresión en el cual se instalan dos sistemas de inyección independientes y un área de presión negativa donde se implementan dos sistemas de extracción. (pág. 67)

En la investigación también se concluye que “los ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia atrás tienen un rodete con los álabes inclinados en sentido contrario al de rotación. Este tipo de ventilador es el de mayor velocidad periférica y mayor rendimiento con un nivel sonoro relativamente bajo y una característica de consumo de energía. En un ventilador "no sobre cargable", el consumo máximo de energía se produce en un punto próximo al de rendimiento óptimo de forma que cualquier cambio a partir de este punto debido a cambios de la resistencia del sistema resultará en un consumo de energía menor”. (pág. 69)

Salazar Mera, E. (2018). *Diseño de “Un sistema de Ventilación con detección de Monóxido de Carbono (Co)” para Sótanos de Estacionamiento de un Edificio Multifamiliar*. [Tesis de grado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional – UNPRG; manifiesta en sus recomendaciones que:

Los costos de operación resultan por lo general elevados, debido a las mayores caídas de presión y a más altas presiones totales del ventilador, por eso se debe hacer un buen diseño de los equipos del sistema de ventilación. (pág. 115)

Capcha Ticona, Y. E. (2019). *Diseño del sistema de extracción de monóxido de carbono para la mejora de la ventilación de los sótanos de estacionamientos del Centro Comercial La Rambla San Borja*. [Tesis de grado. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio institucional – UNTELS; manifiesta en sus recomendaciones que:

Se recomienda realizar un bosquejo tentativo de la ubicación de ductos y rejillas, y analizarlos responsablemente antes de distribuirlos en el diseño, para mantener una ruta adecuada y plantear los puntos de evacuación de acuerdo a los espacios correspondientes según sea la distribución de cada estacionamiento.

Se recomienda el análisis de dinámica de fluidos computacional, que nos va a permitir conocer el comportamiento del fluido a su paso, mediante este análisis se evalúa la efectividad del sistema de extracción de monóxido de carbono. (pág. 78)

Torres Melgarejo, M. A. (2015). *Diseño de un sistema de ventilación para estacionamiento subterráneo de tres niveles*. [Tesis de grado. Pontificia universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional – PUCP; manifiesta en sus conclusiones que:

El arranque de los motores se realizará mediante el método estrella-triángulo reduciendo la corriente a un tercio del valor en arranque directo, venciendo el torque resistente sin causar un sobrecalentamiento del motor. (pág. 101)

En la investigación también se concluye que “el sistema eléctrico para el control de los motores asegura que el arranque se ejecute ante la señal del sensor de monóxido de carbono para cada nivel del estacionamiento, mediante el método estrella triángulo”. (pág. 101)

2.1.2 Antecedentes internacionales

Sanchez, José, Salmerón, José Manuel, Sanchez, Francisco José, Alvarez, Servando, & Molina, José Luis. (2012). Ventilación natural: estudio aerodinámico mediante CFD de extractores pasivos y captadores de viento. *Revista ingeniería de construcción*, en sus conclusiones manifiesta que:

Cuando se realicen estudios que tengan en cuenta el viento como promotor de ventilación natural, hay que tener en cuenta su variabilidad, en cuanto a magnitud y dirección, y la influencia de los condicionantes exteriores del ambiente que rodee al elemento, para evitar la presencia de obstáculos.

Cualquier técnica pasiva que requiera la impulsión de aire del exterior debe concebir en su diseño la instalación de un captador de viento, que aumente la eficiencia y pueda ser combinado con sistemas mecánicos que aumenten la gestionabilidad del sistema. (pág. 55)

Egea Mejia, J. y Garzón García N., (2009), *Modelaje y dispersión de humos generado por un incendio en un espacio confinado – túnel a partir de una herramienta CFD*. [Tesis de grado. Universidad de los Andes]. Repositorio institucional – UNA; manifiesta en sus conclusiones que:

Las simulaciones numéricas tienen un gran potencial en el área de la modelación en ingeniería, sin embargo, se debe ser muy cuidadoso en su ejecución y posterior análisis. Es necesario comprender el fenómeno físico, así como los métodos de resolución para desarrollar una simulación confiable. (pág. 68)

En la investigación también se recomienda que “los modelos y métodos presentados durante el documento no dejan de ser una aproximación y, por lo tanto, los resultados obtenidos no serán exactos bajo ninguna circunstancia. Errores numéricos y físicos se pueden presentar en cada una de las etapas de la simulación (Gobeau, Ledin, & Lea, 2002): datos mal ingresados (propiedades físicas, dimensiones, geometría), selección errada de elementos (falta de comprensión de las bases teóricas), selección de tamaño y forma de los elementos (precisión de los resultados) y manejo de condiciones de frontera. (Moaveni,1999).

Por lo tanto, una forma de controlar estos errores y obtener resultados coherentes para realizar un análisis ajustado fenomenológicamente, es comprender de manera clara el fenómeno físico, las suposiciones del modelo y el método de resolución aplicados. (Gobeau, Ledin, & Lea, 2002). (pág. 69)

American Society of Heating, Refrigeration and Air – Conditioning Engineers (2021). ASHRAE HANDBOOK (I-P Edition, Fundamentals Volume, manifiesta que:

Los modelos de transporte de contaminantes multizona generalmente abordan el transporte de contaminantes por a través de flujos de aire entre zonas y flujos de sistemas mecánicos al tiempo que tienen en cuenta algunos o todos los siguientes: generación de contaminantes por diversas fuentes de reacción química, eliminación por filtración, reacción química, desintegración radioquímica, sedimentación o sorción de contaminantes.

A diferencia de los modelos CFD., los detalles de la distribución de contaminantes dentro de una zona no se modelan: cada zona se considera bien mezclada y se caracteriza por una concentración única en un momento dado. Por lo tanto, se debe considerar la aplicabilidad del supuesto bien mezclada al tiempo de mezcla y al patrón de flujo de aire en una zona.

Por ejemplo, la suposición bien mezclada puede ser bastante apropiada para zonas con un tiempo de mezcla dentro del intervalo de tiempo de la solución de interés (por ejemplo, apagado prolongado - gasificación de materiales de construcción en configuraciones de sistemas de ventilación comunes con flujos de aire relativamente estables). Sin embargo, si una zona se caracteriza por gradientes de concentración pronunciados y el intervalo de tiempo de interés es relativamente corto (por ejemplo, una liberación química en una zona grande), el análisis CFD. podría ser más apropiado. Esto es especialmente cierto si el motivo del análisis es resolver gradientes de concentración dentro de la zona. (pág. 13.16)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Flujo másico y volumétrico

De acuerdo a Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (1a. ed.). (1999). *TERMODINÁMICA*. McGraw-Hill, el flujo másico es la cantidad de masa que fluye por una sección transversal por unidad de tiempo y se relaciona con el flujo volumétrico \dot{V} , definido como el volumen de un fluido que fluye por una sección transversal por unidad de tiempo. (pág. 54)

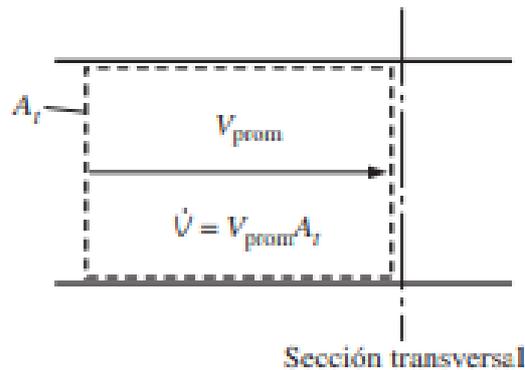


Figura 2.1. Flujo volumétrico

Fuente: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (1999). *TERMODINÁMICA*. McGraw-Hill.

Tenemos que las magnitudes de flujo másico y flujo volumétrico en un fluido se relacionan mediante:

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} = \frac{\dot{V}}{V} \quad (m^3/s) \quad (1)$$

Donde:

\dot{m} = flujo másico

ρ = densidad del fluido

\dot{V} = flujo volumétrico

V = volumen específico

2.2.2 Densidad del fluido

De acuerdo a Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (1a. ed.). (1999). *TERMODINÁMICA*. McGraw-Hill, la ecuación de continuidad es la siguiente:

$$\rho * V = constante \quad (2)$$

Indica que la densidad y la velocidad son inversamente proporcionales. (pág. 887)

Su unidad de medida en el sistema internacional es kg/m^3 .

Siendo la densidad del fluido de aire $1.20 kg/m^3$.

2.2.3 Gas contaminante monóxido de carbono (CO)

Se define como: “un gas incoloro, no irritante, inodoro e insípido que se produce por la combustión incompleta de hidrocarburos como carbón y gas (butano, propano); todas las personas están expuestas al CO en distintos niveles, pero inhalarlo en grandes cantidades puede ser mortal, sin que la víctima se dé cuenta, por lo cual se le conoce como “asesino silente”. (Bolaños Morera & Chacón Araya, 2017)

2.2.4 Estacionamientos en sótanos

Se precisa que:

En todas las edificaciones empleadas para estacionamiento o manejo de automóviles operando con su propio motor, se debe proveer de una ventilación que produzca como mínimo una renovación de aire cada 12 minutos, $12m^3/h.m^2$ y una concentración máxima de 50 p.p.m. (pág. 22)

Ubicación de estacionamiento	Ventilación Natural	Ventilación Mecánica
Primer sótano y segundo sótano	Solo cuando se cumplan los siguientes requisitos: a. Proveer de una ventilación que produzca como mínimo una renovación de aire cada 12 minutos, $12m^3/h.m^2$ y una concentración máxima de 50 ppm. El Proyectista debe presentar los tres cálculos respectivos y optar por el valor mayor. b. La ventilación natural debe ser cruzada. c. Deben disponerse aberturas hacia el medio ambiente exterior por lo menos en dos muros opuestos, de tal forma que su reparto sea uniforme y que la distancia a lo largo del recorrido mínimo libre de obstáculos entre cualquier punto del local y la abertura más	

	<p>próxima a él sea como máximo igual a 25 m. Si la distancia entre las aberturas opuestas más próximas es mayor que 30 m debe disponerse otra equidistante de ambas hacia el medio ambiente exterior permitiéndose una tolerancia del 5%.</p> <p>d. El proyecto de ventilación debe sustentarse mediante una simulación por medio de un modelamiento matemático apoyado en un software o en estudios logarítmicos a fin de tener la mejor configuración para la extracción del humo e inyección de aire fresco que permita elevar la altura del humo y se facilite la rápida evacuación de las personas que se encuentren en el interior</p> <p>En caso contrario debe aplicarse ventilación mecánica</p>	
Tercer sótano y siguientes		Obligatorio el cumplimiento de lo indicado en la presente norma.

Tabla 2.1. Condiciones de diseño para estacionamientos

Fuente: Norma EM .030 Instalaciones de ventilación (2020)

2.2.5 Equipamiento de la infraestructura mecánica para el sistema de extracción de monóxido de carbono

2.2.5.1 Ventiladores

Los ventiladores son instrumentales de rotación indicados para mover una determinada masa de aire, y que producen una cierta presión para vencer las pérdidas de carga que se moverán por los conductos. Se instalan de elementos como el rotativo, soporte y motor.

Según su función tenemos:

a) Inyectores

“Son los ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada directamente a un espacio libre, estando la boca de descarga conectada a un conducto”. (pág. 90)

b) Extractores

“Son los ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada a un conducto y la boca de descarga está conectada a un espacio libre”. (pág. 90)

2.2.5.2 Ventiladores centrífugos y de impulsión

“Son aparatos que se utilizan cuando se necesita una determinada velocidad de aire”. (pág. 91)

Los ventiladores centrífugos tipo jet fan son utilizados mayormente para mover magnas cantidades de aire en espacios confinados como los estacionamientos en sótanos con poca altura.



Figura 2.2. Ventilador centrífugo tipo jet fan

Fuente: Soler & Palau



Figura 2.3. Ventilador centrífugo tipo jet fan

Fuente: Soler & Palau

Los ventiladores de impulsión tipo jet fan son utilizados en su mayoría controlar principalmente la dirección del aire a través de sus persianas direccionales y se caracterizan por su bajo ruido en espacios confinados como los estacionamientos en sótanos.



Figura 2.4. Ventilador de impulsión tipo jet fan

Fuente: Soler & Palau

Según la trayectoria del aire en el ventilador se tienen:

a) Ventiladores axiales directos

“En los cuales el aire entra y sale de la hélice con trayectorias a lo largo de superficies cilíndricas coaxiales al ventilador”. (pág. 92)



Figura 2.5. Equipo axial directo para montaje en pared

Fuente: Soler & Palau

2.2.6 Eliminación de monóxido de carbono en sótanos

En los estacionamientos se debe disponerse un sistema de ventilación que puede ser natural o mecánica (Soler & Palau, 2007).

2.2.6.1 Ventilación natural

Una abertura mixta es aquella que comunica el local directamente con el exterior y que en ciertas circunstancias funciona como abertura de admisión y en otras como abertura de extracción), al menos en dos zonas opuestas de la fachada de tal forma que su reparto sea uniforme y que la distancia a lo largo del recorrido sea libre de obstáculos. (pág. 46)

2.2.6.2 Ventilación mecánica

Puede utilizarse una de las siguientes opciones:

- a) con extracción mecánica;
- b) con admisión y extracción mecánica

Es posible ventilar simplemente mediante extracción, pero se aconseja garantizar la entrada de aire limpio procedente del exterior a todas las plantas. [...] Igualmente

se aconseja que, en un mayor movimiento de vehículos, se usen sistemas conjuntos de extracción e impulsión con el objeto de garantizar una adecuada eliminación de los posibles contaminantes. Debe evitarse que se produzcan estancamientos de los gases contaminantes y para ello las aberturas de ventilación deben disponer que haya una abertura de admisión y otra de extracción de manera que se ha de garantizar un adecuado barrido de aire desde los puntos de entrada de aire exterior hasta los puntos de extracción. (pág. 47)

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Simulación CFD

De acuerdo a John, A. J., (International Editions). (1995). *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS The Basics with Applications*. McGraw-Hill, la dinámica de fluidos computacional en términos generales comprende lo siguiente:

Los resultados de dinámica de fluidos computacionales son directamente análogos a los resultados de túnel de viento obtenidos en un laboratorio; ambos representan conjuntos de datos para configuraciones de flujo dadas en diferentes números de Mach, números de Reynolds, etc. Sin embargo, a diferencia de un túnel de viento, que generalmente es un Dispositivo pesado y difícil de manejar, un programa de computadora (por ejemplo, en forma de disquetes) es algo que puede llevar en la mano. O mejor aún, las personas en terminales que pueden estar a miles de kilómetros de distancia de la propia computadora pueden acceder de forma remota a un programa fuente en la memoria de una computadora determinada. Un programa de computadora es, por lo tanto, una herramienta fácilmente transportable, un "túnel de viento transportable". Continuando con esta analogía, un programa de computadora es una herramienta con la que se pueden realizar experimentos numéricos. (pág. 6)

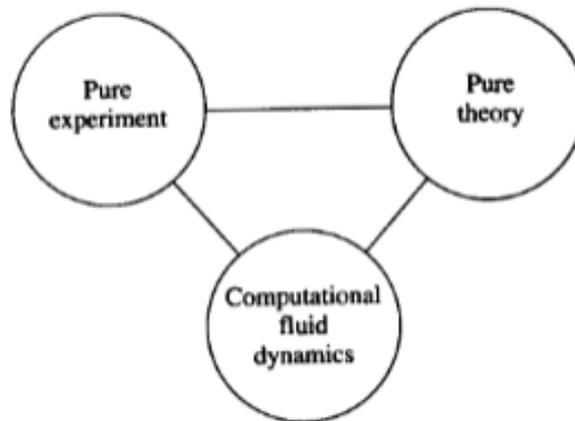


Figura 2.6. Filosofía de las tres dimensiones para la dinámica de fluidos computacional

Fuente: John, A. J., (International Editions). (1995). *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS The Basics with Applications*. McGraw-Hill

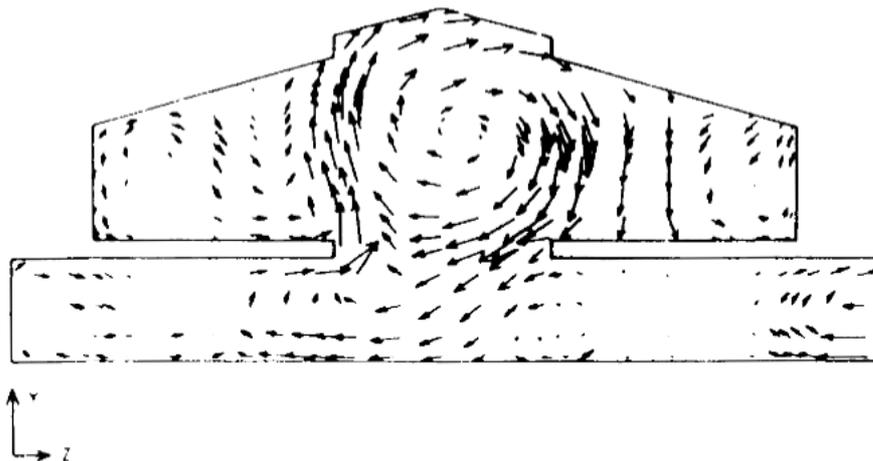


Figura 2.7. Simulación del campo vectorial de velocidad del flujo de aire de un recinto

Fuente: John, A. J., (International Editions). (1995). *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS The Basics with Applications*. McGraw-Hill

2.3.2 Infraestructura mecánica

En el presente proyecto se considera como infraestructura mecánica, a todo el sistema de extracción de monóxido de carbono referido a sus equipos, lógica de funcionamiento y acción.

Es un conjunto de dispositivos conectados entre sí, cuando la concentración de C.O. es superior a la establecida son detectados por los Sensores de Monóxido, los cuales a través de un Controlador (Tablero de Arranque y Control) ponen en marcha el sistema de ventilación como el Extractor para el proceso de evacuación del aire viciado y el Inyector para la renovación de aire limpio desde el exterior y se desconectan cuando el Sensor de Monóxido detecte que el nivel de C.O. desciende hasta alcanzar valores admisibles. (Friotemp Perú, s.f.)

2.3.3 Caudal de aire

Se precisa que:

Volumen de aire que se aporta a un ambiente por unidad de tiempo. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

2.3.4 Caída de presión

De acuerdo a Quinchía, R. & Puerta, J., (2a ed). (1995). *VENTILACIÓN INDUSTRIAL*, la caída de presión o pérdida de carga es:

La resistencia al flujo es el efecto combinado de las fuerzas debidas a la viscosidad y a la inercia. En este caso, la distribución de velocidades en los ductos depende de la turbulencia, mayor o menor, y está influenciada por las condiciones de las paredes, Un tubo con paredes rugosas causaría mayor turbulencia. (pág. 72)

Las pérdidas de presión estática se presentan por fricción en codos, entradas de ramales, orificios, expansiones, contracciones, entrada al ventilador, chimenea y otras perdidas por fricción o turbulencia del sistema. (pág. 73)

2.3.5 Jet Fan

Son ventiladores de impulso tipo Jet Fan, diseñados para desplazar caudal, en espacios grandes donde se requiere movimiento de aire, por encontrarse cerrados o subterráneos, eliminando la contaminación auditiva debido a su bajo nivel sonoro. (Soler & Palau, 2007)

2.4 Definición de términos básicos

ASHRAE.

(The American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers).

Fundada en 1894, ASHRAE es una asociación de tecnología para edificios con más de 57,000 miembros mundialmente. La asociación y sus miembros se enfocan en los sistemas de edificios, la eficiencia energética, la calidad del aire interior y la sostenibilidad dentro de la industria. A través de la investigación, la redacción de normas, la publicación y la educación continua, ASHRAE da forma hoy al entorno construido de mañana. ASHRAE fue concebida en 1959 como la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, debido a la fusión de la Sociedad de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado (ASHAE) fundada en 1894, y la Sociedad Americana de Ingenieros de Refrigeración (ASRE) fundada en 1904". (ASHRAE, 2021)

Asimismo, nos indica que tienen como:

MISIÓN, servir a la humanidad mediante el progreso del arte y de las ciencias en materia de climatización, refrigeración y otros campos asociados.

VISIÓN Un entorno construido saludable y sostenible para todos. (ASHRAE, 2019)

R.N.E.

(Reglamento Nacional de Edificaciones).

Las Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones se elaboran a través de Comités Técnicos, conformados por representantes de diversas instituciones involucradas en el tema materia de la norma en cuestión. Prioritariamente forman parte de estos comités, representantes de las universidades, institutos de investigación y consultores de reconocido prestigio en el país.". (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021)

EM.030.

(Normativa de instalaciones mecánicas del R.N.E.).

Según Reglamento Nacional de Edificaciones, nos indica que tiene como fin:

Establecer los lineamientos técnicos mínimos que se deben considerar para el diseño, construcción, instalación y operación de los sistemas de ventilación mecánica en una edificación. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

P.P.M.

(Partes Por Millón).

Partes por millón (p.p.m.) como unidad de medida de concentración que indica la cantidad de unidades de la sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

C.O.

(Monóxido de carbono).

El monóxido de carbono es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre. Sus principales fuentes productoras responsables de aproximadamente 80% de las emisiones, son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diésel y los procesos industriales que utilizan compuestos del carbono. Esta sustancia es bien conocida por su toxicidad para el ser humano. Sus efectos tóxicos agudos incluyen la muerte han sido estudiados ampliamente; sin embargo, sus potenciales efectos adversos a largo plazo son poco conocidos. En los últimos años, los estudios de investigación experimentales en animales y epidemiológicos en humanos han evidenciado relación entre población expuesta en forma crónica a niveles medios y bajos de monóxido de carbono en aire respirable y la aparición de efectos adversos en la salud humana especialmente en órganos de alto consumo de oxígeno como cerebro y corazón. Se han documentado efectos nocivos cardiovasculares y neuropsicológicos en presencia de concentraciones de monóxido de carbono en aire inferiores a 25 partes por millón ya niveles de carboxihemoglobina en sangre inferiores a 10%. Las alteraciones cardiovasculares que se han descrito son hipertensión arterial, aparición de arritmias y signos electrocardiográficos de isquemia. Déficit en

memoria, atención, concentración y alteraciones del movimiento tipo parkinsonismo. (Téllez , Rodríguez, & Fajardo, 2006)

CFD.

(Computational Fluid Dynamics).

La dinámica de fluidos computacional constituye un nuevo "tercer enfoque" en el estudio filosófico y el desarrollo de toda la disciplina de la dinámica de fluidos. En el siglo XVII, se sentaron las bases de las dinámicas cinematográficas experimentales en Francia e Inglaterra. Los siglos XVIII y XIX vieron el desarrollo gradual de la dinámica de fluidos teórica, de nuevo principalmente en Europa. [...] Sin embargo, la llegada de la computadora digital de alta velocidad combinada con el desarrollo de algoritmos numéricos precisos para resolver problemas físicos en estas computadoras ha revolucionado la forma en que estudiamos y practicamos la dinámica de fluidos en la actualidad. Ha introducido un nuevo tercer enfoque fundamentalmente importante en la dinámica de fluidos: el enfoque de la dinámica de fluidos computacional. [...]

Sin embargo, para mantener las cosas en perspectiva, la dinámica de fluidos computacional proporciona un nuevo tercer enfoque, pero nada más que eso. Complementa de manera agradable y sinérgica los otros dos enfoques de la teoría pura y el experimento puro, pero nunca reemplazará ninguno de estos enfoques (como a veces se sugiere). Siempre habrá necesidad de teoría y experimentación. El futuro avance de la dinámica de fluidos se basará en un equilibrio adecuado de los tres resultados de la teoría y el experimento, y viceversa. Por último, observamos que la dinámica de fluidos computacional es un lugar común en la actualidad, ya que el acrónimo CFD es universalmente aceptado para el nombre de "dinámica de fluidos competitiva". (pág. 5)

N.P.T.

(Nivel de Piso Terminado)

Es la altura del espacio del piso sobre la que una persona se desplaza, dependerá del nivel del piso de las habitaciones adyacentes y las referencias de la parte más baja hojas de las puertas para poder determinarla.

CAPÍTULO III

Desarrollo del trabajo profesional

3.1 Determinación y análisis del problema

Para el presente proyecto de investigación tenemos un diseño preliminar de sistema de extracción de monóxido de carbono en el edificio multifamiliar “Almudena”, el cual aún no se encuentra en fase de ejecución o instalación, por lo que se aclara que el estudio está basado en los planos, memorias y fichas técnicas que son la representación gráfica y descriptiva del proyecto y que además abarca los dibujos, esquemas, figuras y configuraciones necesarias para llegar a un entendimiento del conjunto.

En primera instancia, empezaremos describiendo a los sótanos del edificio multifamiliar “Almudena”, y seguido describiremos el sistema de extracción de monóxido presentado en el diseño preliminar:

Sótano 02: - 5.87 N.P.T.

Sótano 01: - 3.17 N.P.T.

Piso 01: + 0.35 N.P.T.

Techos: + 45.05 N.P.T.

Inicialmente, se realizó una primera revisión general del proyecto del sistema de extracción de monóxido de carbono, en la cual se pudo observar algunos aspectos de diseño y cálculo que no se encontraban acorde con la nueva normativa del R.N.E del año 2020 y las recomendaciones dadas por ASHRAE. Entre las cuales podemos mencionar las siguientes necesidades de mejora:

- a) “Distancias mínimas de separación a las tomas de aire exterior” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020).

De acuerdo a ello, se encontró en los planos del proyecto preliminar, que aparentemente la toma de aire para los sótanos no cumple con lo mencionado y está cerca de una descarga de aire de cuarto de basura.

- b) “Los sistemas de ventilación mecánica deben estar diseñados para que el aire circule por todo el ambiente” . (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

De acuerdo a ello, se debe presentar la simulación CFD que brindará un mejor entendimiento de la circulación del aire.

- c) “La velocidad de ingreso del aire exterior excede de 3,00 m/s, el borde superior de la toma de aire debe estar como mínimo a 2,40 m. sobre el nivel del piso terminado”. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

De acuerdo a ello, se encontró en los planos del proyecto preliminar, que aparentemente la velocidad de ingreso es mayor a la indicada por lo que se la altura de la montante de ingreso de aire estaría errada.

- d) “Proveer de una ventilación que produzca como mínimo una renovación de aire cada 12 minutos, 12m³/h.m² y una concentración máxima de 50 ppm. El Proyectista debe presentar los tres cálculos respectivos y optar por el valor mayor”. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

De acuerdo a ello, se encontró en los planos del proyecto preliminar, que aparentemente no se hizo el diseño con los tres tipos de cálculo de caudal, que son: por renovaciones por hora, por velocidades y por recomendaciones de ASHRAE y posiblemente el caudal diseñado se encuentre errado.

- e) “El proyecto de ventilación debe sustentarse mediante una simulación por medio de un modelamiento matemático apoyado en un software o en estudios logarítmicos a fin de tener la mejor configuración para la extracción del humo e inyección de aire fresco que permita elevar la altura del humo y se facilite la rápida evacuación de las personas que se encuentren en el interior”. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

De acuerdo a ello, aparentemente la simulación del CFD brindará un mejor sustento de la circulación del aire para el sistema de extracción de monóxido de carbono, si bien es requisito obligatorio en la administración de humos, se podrá plantear como una optimización para la validación del sistema.

- f) “En las instalaciones de ventiladores de ático, se debe instalar [...], un sistema, cortafuego con ductos en caso de incendio”. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

De acuerdo a ello, se encontró en los planos del proyecto preliminar, que aparentemente el sistema de extracción de monóxido de carbono se encuentra errado y no cuenta con dispositivos cortafuego, por lo cual se buscará replantearlos.

3.1.1 Parámetros de cálculo

Se realizaron cálculos de obtención de caudal, caída de presión, velocidades, potencias, cantidad de sensores de monóxido de carbono, cantidad de tableros eléctricos todo ello para el sistema de extracción de monóxido de carbono, con la finalidad de determinar los valores de dichos datos, con respecto a las nuevas normativas vigentes y poder compararlos con los valores que tenía preliminarmente el proyecto. A estos cálculos se les denominó hojas de parámetros de cálculo.

3.1.2 Instrumento de medición

En este proyecto de investigación se emplearon hojas de parámetros de cálculo como instrumento de medición para la obtención de datos y su posterior comparativa con los datos iniciales del proyecto, los cuales se ingresaron a hojas hechas en Excel (Microsoft Office versión 2016).

3.1.3 Metodología empleada

La infraestructura mecánica del diseño preliminar del proyecto, está constituida de la siguiente manera:

- Sótano 02: 01 equipo axial de extracción y rejilla de extracción c/ dámper de regulación manual
01 equipo axial de inyección y rejilla de inyección c/ dámper de regulación manual
01 equipo de impulsión tipo Jet Fan
01 Sensor de monóxido
01 Tablero de control y fuerza c/ timer

- Sótano 01: 01 equipo axial de extracción y rejilla de extracción c/ dámper de regulación manual
 01 equipo de impulsión tipo Jet Fan
 02 Sensores de monóxido
 01 Tablero de control y fuerza c/ timer
- Piso 01: 01 Rejilla de toma de aire fresco
- Techos: 01 Rejilla de descarga de monóxido de carbono

Para la validación de los parámetros de cálculo, se consideró lo siguiente:

- Determinación de caudal de aire del equipo de extracción e inyección.
- Determinación de caída de presión total para la extracción e inyección.
- Determinación de la potencia del equipo de extracción e inyección.
- Determinación de la ubicación y cantidad de sensores de monóxido de carbono.
- Determinación de la ubicación y cantidad de tablero de fuerza y control.

A continuación, se tomó como referencia el ducto de extracción del sótano 02, ubicado entre los ejes 5-A. En la figura 3.1 se muestra la planta general de dicho sótano, indicando en un recuadro de color rojo la ubicación del ducto de extracción.

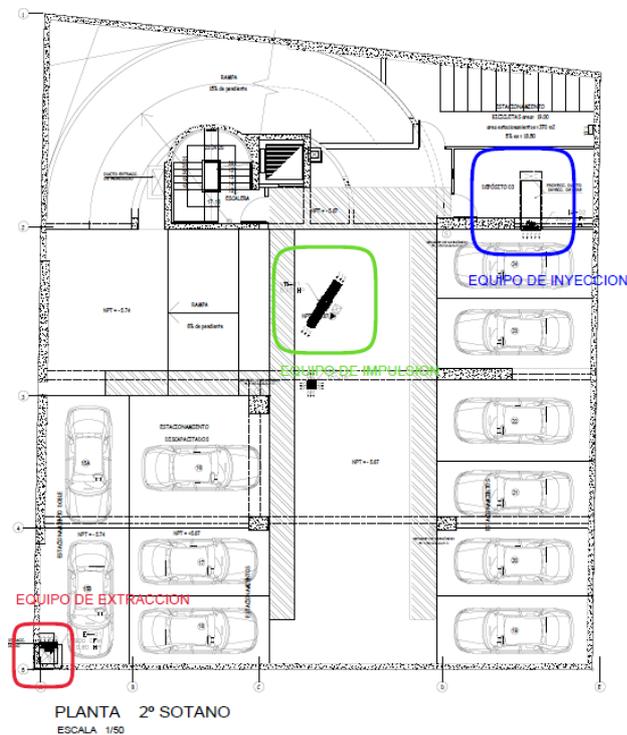


Figura 3.1. Infraestructura mecánica 2º sótano

Fuente: Ecohabitat Desarrollo Inmobiliario S.A.C.

- i. Como primer paso, se halló la caída de presión en conductos, la cual se obtiene hallando el diámetro equivalente del ducto rectangular a su equivalente circular. Los valores de dimensión del largo y ancho del conducto deberán cumplir que el lado “a” será mayor que el lado “b” y que a/b sea mayor a 3. Se pueden obtener mediante la siguiente ecuación 3:

$$D_e = 1.3 * \frac{(a * b)^{0.625}}{(a + b)^{0.25}} \quad (mm) \text{ o } (in) \quad (3)$$

Donde:

D_e = *Diámetro equivalente*

a = *Lado mayor del conducto*

b = *Lado menor del conducto*

Con esta fórmula se inicia la conversión de los valores a ductos circulares para su posterior uso en el cálculo de caída de presión.

Como lo anteriormente mencionado tomaremos de ejemplo al ducto de extracción del sótano 02, que se encuentra trabajando con un extractor axial EA-01. El ducto de extracción tiene 0.95mts x 0.40mts y su equivalente en pulgadas de 37”x16”. Reemplazando los datos tenemos lo siguiente:

$$D_e = 1.3 * \frac{(37 * 16)^{0.625}}{(37 + 16)^{0.25}} = 1.3 * 20.0277 = 26 \text{ in}$$

Ello nos indica que el diámetro equivalente del ducto de extracción representa 26”.

- ii. Como segundo paso, se halló el cálculo de caudal por renovaciones por hora en conductos con flujo turbulento, mediante la ecuación 4:

$$Q = A * H * R * 0.58858 \quad (CFM) \quad (4)$$

Donde:

$H = \text{Altura de recinto}$

$Q = \text{Caudal}$

$R = \text{Renovaciones por hora}$

Con esta fórmula se halla el caudal, mediante el método de renovaciones por hora. Tener en cuenta que el área y altura corresponde al recinto de todo el sótano 02 expresado en metros cuadrados. Reemplazando los datos tenemos lo siguiente:

$$Q = A * H * R * 0.58858 = 348.56 * 2.4 * 5 * 0.58858 = 2,462 \text{ CFM}$$

Ello nos indica que caudal del equipo EA-01 es de 2,462 CFM.

Asimismo, se halló el cálculo de caudal por velocidades, mediante la ecuación 5:

$$Q = A * V * 0.58858 \quad (\text{FPM}) \quad (5)$$

Donde:

$V = \text{Velocidad del fluido}$

$Q = \text{Caudal}$

$A = \text{Area}$

Tener en cuenta que el área corresponde al recinto de todo el sótano 02 expresado en metros cuadrados y el caudal ya fue hallado teniendo que se encuentra trabajando con un extractor axial EA-01 de 2,462 CFM. Reemplazando los datos tenemos lo siguiente:

$$Q = A * V * 0.58858 = 2462 = 348 * V * 0.58858 = 12 \text{ FPM}$$

Ello nos indica que la velocidad del equipo de extracción EA-01 es de 12 fpm.

Finalmente, se halló el cálculo de caudal según ASHRAE, este resultado toma variados valores a tener en cuenta antes de aplicar las fórmulas de la ecuación 6:

$$\phi = 100 * G \left(\frac{g}{h} \right) \left(\frac{g}{h+M2} \right) \quad (PPM) \quad (6)$$

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

Donde:

A_p = Area del piso del estacionamiento

N = Cantidad de vehiculos promedio en hora máxima

$E \left(\frac{g}{h} \right)$ = Emisión de monóxido promedio de un vehiculo por hora

$t(s)$ = Tiempo promedio de operación de un vehículo

$CO \max$ = Nivel de concentración de monóxido admisible

$G \left(\frac{g}{h} \right)$ = Generación máxima de monóxido de carbono

Tener en cuenta que el área corresponde al recinto de todo el sótano 02 expresado en metros cuadrados y el caudal ya fue hallado teniendo que se encuentra trabajando con un extractor axial EA-01 de 2,462 CFM. Reemplazando los datos tenemos lo siguiente:

$$\phi = 100 * G \left(\frac{g}{h} \right) \left(\frac{g}{h+M2} \right) = 100 * 2.02 / 2.48 = 81.35 \text{ g/hft}^2$$

$$q' = C * \phi * t = 0.948 * 0.001 * 120 = 0.93 \text{ cfm /ft}^2$$

$$Q = q' * A = 0.93 * 3750.51 \text{ ft}^2 = 3472 \text{ cfm}$$

Donde:

A_p = 348.56 m²

N = 12 autos

$E \left(\frac{g}{h} \right)$ = 1260 g/hr

$t(s)$ = 120 seg

$CO \max$ = 7560 g/hr

$$G\left(\frac{g}{h}\right) = 2.02 \text{ g/ft}^2$$

$$q' = 0.93 \text{ cfm} / \text{m}^2$$

Ello nos indica que la velocidad del equipo de extracción EA-01 es de 3,471 CFM.

- i. Como tercer paso, se halló el cálculo de caída de presión (pulgadas de medidor de agua /100 pies de conducto) en conductos circulares con flujo turbulento, mediante la ecuación 7:

$$\Delta h = \frac{0.109136 * Q^{1.9}}{D^{5.02}_e} \quad (\text{in}/100\text{fts}) \quad (7)$$

Donde:

D_e = Diametro equivalente

Δh = Caída de presión

Q = Caudal

Como lo anteriormente mencionado tomaremos de ejemplo al ducto de extracción del sótano 02, que se encuentra trabajando con un extractor axial EA-01 de 2,462 CFM. Reemplazando los datos tenemos lo siguiente:

$$\Delta h = \frac{0.109136 * Q^{1.9}}{D^{5.02}_e} = \frac{0.109136 * 2462^{1.9}}{26^{5.02}} = 0.0234 \text{ in}/100\text{fts}$$

Ello nos indica que la caída de presión del ducto de extracción es de 0.03412 in/100 fts.

- ii. En quinto lugar, se halló el cálculo de potencia aproximada de los equipos de extracción e inyección, mediante la ecuación 9:

$$P = 0.00134 * \frac{Q * \Delta h}{n} \quad (\text{HP}) \quad (8)$$

Donde:

Δh = Caída de presión

$Q = \text{Caudal}$

$P = \text{Potencia}$

$n = \text{Rendimiento}$

Como lo anteriormente mencionado tomaremos de ejemplo al ducto de extracción del sótano 02, que se encuentra trabajando con un extractor axial EA-01 de 2,462 CFM además de una caída de presión de 0.03412 in/100 fts y está trabajando con un rendimiento del 50%. Reemplazando los datos tenemos lo siguiente:

$$P = 0.00134 * \frac{2462 * 125}{0.5} = 0.47 \text{ HP}$$

Ello nos indica que la potencia del equipo de extracción EA-01 es de 0.47 hp.

3.1.4 Ubicación de montantes de inyección y extracción

La montante de extracción presentada en el diseño preliminar del proyecto es de mampostería y se encuentra ubicada entre los ejes 5-A de los sótanos 02 y 01 del edificio multifamiliar.

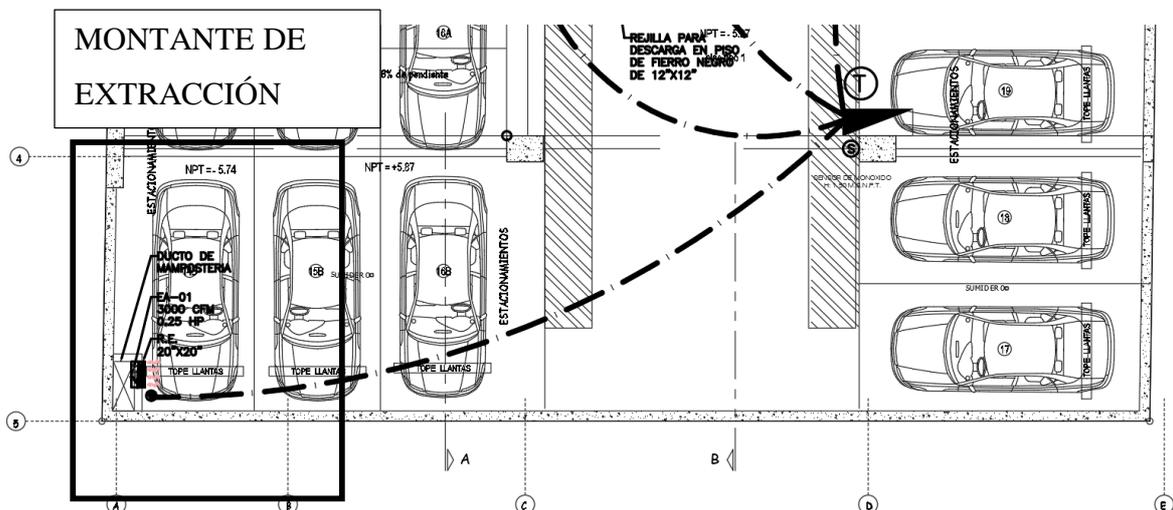


Figura 3.2. Montante de extracción

Fuente: Ecohabitat Desarrollo Inmobiliario S.A.C.

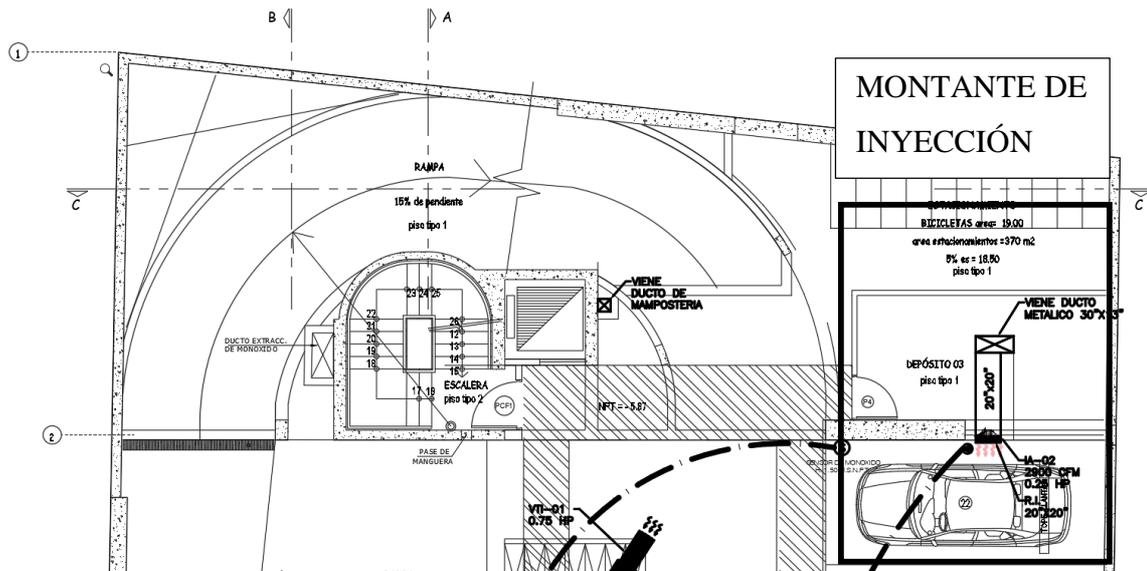


Figura 3.3. Montante de inyección

Fuente: Ecohabitat Desarrollo Inmobiliario S.A.C.

Por otro lado, la montante de inyección presentada en el diseño preliminar del proyecto es de mampostería ubicada entre los ejes 2-E de los sótanos 02 y 01 del edificio multifamiliar.

De lo observado, las dos montantes de mampostería se ubican en extremos del edificio lo que origina un posible buen desplazamiento del aire con monóxido de carbono.

3.1.5 Ubicación y cantidad de los sensores de monóxido de carbono

Los puntos de sensores de monóxido de carbono deben ubicarse de acuerdo a un radio estimado en la ficha técnica del modelo a instalar ya que en algunos casos varían en un radio de entre 10 a 12 metros de cobertura de testeado de CO.

En el diseño preliminar del proyecto se encuentran 01 sensor en el sótano 02 y 02 sensores en el sótano 01.

Además de ello, se indica en la memoria descriptiva que para la lógica de funcionamiento del encendido y apagado de los equipos se enviara una señal de arranque al sistema de ventilación.

Si bien, se indica la concentración máxima al que deban ser calibrados con un valor de 35 ppm, en la norma se establece que es 50 ppm de igual manera el dispositivo de señal será del tipo analógico de 4 a 20 mA.

Finalmente, no se encontró algún apartado que indique una conexión con algún controlador BMS.

3.1.6 Ubicación y cantidad de tableros de control y fuerza

Los tableros eléctricos del sistema de extracción de monóxido de carbono son comandados por un tablero de fuerza general que brinda una línea de energía al tablero de control donde se realiza todo el funcionamiento del sistema.

Se indica en la memoria descriptiva del proyecto preliminar que, para la activación del sistema, se debe considerar que la instalación de un (01) timer programable electrónico para 32 memorias, para el encendido automatizado de los equipos de ventilación, con una configuración de encendido:

A las 7:00 a.m., por 12 minutos, a las 01:00 p.m., por 12 minutos y a las 7:00 p.m., por 12 minutos.

Si bien no se indican detalles precisos del armado del tablero eléctrico, estas deberán respetar los lineamientos del Código Nacional de Electricidad que recomienda el uso de una llave general, relés térmicos, guarda motor y un sistema de control (lógica de funcionamiento de equipos), asimismo los tableros pueden ir adosados o empotrados previa coordinación con la obra ya en su proceso de ejecución.

Finalmente, no se encontró algún apartado que indique el uso de variador de frecuencia en su funcionamiento.

3.1.7 Especificaciones técnicas de ductos metálicos y rejillas

En las especificaciones técnicas del proyecto preliminar no se encontraron determinaciones sobre los calibres de ducto metálico, soportería, ni rejillas por lo que recomendaran de plancha de fierro galvanizado y que cumplan con las normas SMACNA (“Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association, Inc.”)

3.1.8 Especificaciones técnicas de jet fan

En las especificaciones técnicas del proyecto preliminar se recomienda instalar en la parte superior del recinto, lo más cercano al techo, dispuestos de manera tal que se tenga el control de la ventilación y distribución del aire dentro de la estructura para una mejor y rápida eliminación de monóxido de carbono dentro de los sótanos. Estos equipos toman el aire mezclado con monóxido de carbono (aire viciado) logrando mover el aire con una cobertura total y uniforme en el área definida y lo impulsan hacia las rejillas del equipo de extracción.

3.2 Modelo de solución propuesto

3.2.1 Cálculo de caudales de diseño

3.2.1.1 Determinación de caudal de aire del equipo de extracción

Para ello se efectuó un cuadro comparativo con los valores calculados y los valores de diseño del proyecto, con todos los parámetros de acuerdo al R.N.E., los cuales tenemos:

a) Cálculo de caudal mediante renovaciones por hora

PARÁMETRO DE CÁLCULO

EDIFICIO MULTIFAMILIAR ALMUDENA

Nivel	Código	Area (m2)	Altura(m)	Volumen (m3)	Renov./Hora	Caudal (m3/hr)	Caudal calculado (cfm)	Caudal de diseño (cfm)
SOTANO 2	EA-01	348.56	2.4	836.544	5	4,183	2,462	3,000
SOTANO 1	EA-02	330.25	2.9	957.725	5	4,789	2,818	3,000

Tabla 3.1. Cálculo de los extractores mediante el método renovaciones por hora

Fuente: Elaboración propia

b) Cálculo de caudal mediante valores de velocidad del fluido

PARÁMETRO DE CÁLCULO

EDIFICIO MULTIFAMILIAR ALMUDENA

Nivel	Código	Area (m2)	Velocidad (fpm)		Caudal calculado (cfm)	Caudal de diseño (cfm)
SOTANO 2	EA-01	348.56	12	0.58858	2,462	3,000
SOTANO 1	EA-02	330.25	12	0.58858	2,333	3,000

Tabla 3.2. Cálculo de los extractores mediante el método velocidad del fluido

Fuente: Elaboración propia

c) Cálculo de caudal mediante valores de ASHRAE

PARÁMETRO DE CÁLCULO

EDIFICIO MULTIFAMILIAR ALMUDENA

Nivel	Código	Area (m2)	Area (ft2)	Numero de autos (N)	Emision CO (g/h)	Tiempo (seg)	Concentracion CO total (g/h)
SOTANO 2	EA-01	348.56	3750.51	12	1260	120	7,560
SOTANO 1	EA-02	330.25	3553.49	11	1260	120	6,930

Nivel	Código	Rango de generacion CO G (g/ft2)	G0 (g/hm2)	G0 (h/ft2)	Ø (g/hft2)	Caudal minimo por area q' (cfm/ft2)	Caudal Q (cfm)
SOTANO 2	EA-01	2.02	26.7	2.48	81.35	0.93	3,471.0
SOTANO 1	EA-02	1.95	26.7	2.48	78.71	0.90	3,181.7

Tabla 3.3. Cálculo de los extractores mediante el método de valores ASHRAE

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Determinación de caudal de aire mínimo del equipo de inyección.

Para ello se efectuó un cuadro comparativo con los valores calculados y los valores de diseño del proyecto, con todos los parámetros de acuerdo al R.N.E., los cuales tenemos:

a) Cálculo de caudal mediante renovaciones por hora

PARÁMETRO DE CÁLCULO

EDIFICIO MULTIFAMILIAR ALMUDENA

Nivel	Código	Area (m2)	Altura(m)	Volumen (m3)	Renov./Hora	Caudal (m3/hr)	Caudal calculado (cfm)	Caudal de diseño (cfm)
SOTANO 2	IA-01	348.56	2.4	836.544	5	4,183	2,462	2,900

Tabla 3.4. Cálculo de los inyectores mediante el método renovaciones por hora

Fuente: Elaboración propia

b) Cálculo de caudal mediante valores de velocidad del fluido

PARÁMETRO DE CÁLCULO

EDIFICIO MULTIFAMILIAR ALMUDENA

Nivel	Código	Area (m2)	Velocidad (fpm)		Caudal calculado (cfm)	Caudal de diseño (cfm)
SOTANO 2	IA-01	348.56	12	0.58858	2,462	2,900

Tabla 3.5. Cálculo de los inyectores mediante el método velocidad del fluido

Fuente: Elaboración propia

c) Cálculo de caudal mediante valores de ASHRAE

PARÁMETRO DE CÁLCULO

EDIFICIO MULTIFAMILIAR ALMUDENA

Nivel	Código	Area (m2)	Area (ft2)	Numero de autos (N)	Emision CO (g/h)	Tiempo (seg)	Concentracion CO total (g/h)
SOTANO 2	IA-01	348.56	3750.51	12	1260	120	7,560

Nivel	Código	Rango de generacion CO G (g/ft2)	G0 (g/hm2)	G0 (h/ft2)	Ø (g/hft2)	Caudal minimo por area q' (cfm/ft2)	Caudal Q (cfm)
SOTANO 2	IA-01	2.02	26.7	2.48	81.35	0.93	3,471.0

Tabla 3.6. Cálculo de los inyectores mediante el método de valores ASHRAE

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Cálculo de caídas de presión

3.2.2.1 Determinación de caída de presión del equipo de extracción

Para ello se realizó un cuadro del cálculo de caída de presión en cada ramal o montante del equipo de extracción, tenemos:

D1		INPUTS			OUPUTS	
Dimension A	in	37	de (diam. equiv)		in	26.1
Dimension B	in	16	Unitary Pressure Drop		in/100fts	0.12733
Airflow	CFM	6000	Pressure Drop Branch		in	0.01
Duct. Length	m	3	Velocidad		fpm	1459.5
D2		INPUTS			OUPUTS	
Dimension A	in	24	de (diam. equiv)		in	26.3
Dimension B	in	24	Unitary Pressure Drop		in/100fts	0.12
Airflow	CFM	6000	Pressure Drop Branch		in	0.07
Duct. Length	m	18	Velocidad		fpm	1500.0
D3		INPUTS			OUPUTS	
Dimension A	in	33	de (diam. equiv)		in	25.6
Dimension B	in	17	Unitary Pressure Drop		in/100fts	0.14
Airflow	CFM	6000	Pressure Drop Branch		in	0.19
Duct. Length	m	42	Velocidad		fpm	1540.1

Total Duct Pressure Drop					in	0.28
---------------------------------	--	--	--	--	----	-------------

Additional Pressure Drops (1)			
F I T T I N G S	Type	Qty	P.D.(in)
	Elbows	2	0.16
	Tees - Wyes	0	0
	Dampers	0	0
	Conical Contraction	0	0
	Rectangular Transition	0	0
	Fan Connection	1	0.1
	Diffuser/Grille	3	0.048
	Fitting 1 (Codo 45)	0	0
	Fitting 2	0	0
Fitting 3	0	0	
Fitting 4	0	0	
Total Fittings Pressure Drop		in	0.31

Additional Pressure Drops (2)			
F I L T E R S	Type	Qty	P.D.(in)
	Aluminum Filter 2"	0	0.00
	Pleated Filter 2"	0	0.00
	Bag Filters 15" - 22" / 95%	0	0.00
	HEPA Filters 12"	0	0.00
	Electrostatic Filter	0	0.00
	Grease Filter (Baffle)	0	0.00
Total Filters Pressure Drop		in	0.00
Total E.S.P.		in	0.59
Total E.S.P. de diseño		in	0.50

Tabla 3.7. Cálculo de caída de presión total para el equipo extractor

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Determinación de caída de presión del equipo de inyección

Para ello se realizó un cuadro del cálculo de caída de presión en cada ramal o montante del equipo de inyección, tenemos:

S T R U C T U R E S	D1		INPUTS		OUPUTS	
	Dimension A	in	20	de (diam. equiv)	in	21.9
	Dimension B	in	20	nitary Pressure Drc	in/100fts	0.07718
	Airflow	CFM	2900	ressure Drop Branc	in	0.01
	Duct. Length	m	2	Velocidad	fpm	1044.0
	D2					
	Dimension A	in	30	de (diam. equiv)	in	21.2
	Dimension B	in	13	nitary Pressure Drc	in/100fts	0.09
	Airflow	CFM	2900	ressure Drop Branc	in	0.01
	Duct. Length	m	3	Velocidad	fpm	1070.8
Total Duct Pressure D					in	0.01

Additional Pressure Drops (1)

	Type	Qty	P.D.(in)
F I T T I N G S	Elbows	1	0.08
	Tees - Wyes	0	0
	Dampers	0	0
	Conical Contraction	0	0
	Rectangular Transition	0	0
	Fan Connection	1	0.1
	Diffuser/Grille	2	0.032
	Fitting 1 (Codo 45)	0	0
	Fitting 2	0	0
	Fitting 3	0	0
Fitting 4	0	0	
Total Fittings Pressure Drop		in	0.21

Additional Pressure Drops (2)

	Type	Qty	P.D.(in)
F I L T E R S	Aluminum Filter 2"	0	0.00
	Pleated Filter 2"	0	0.00
	Bag Filters 15" - 22" / 95%	0	0.00
	HEPA Filters 12"	0	0.00
	Electrostatic Filter	0	0.00
	Grease Filter (Baffle)	0	0.00
	Total Filters Pressure Drop	in	0.00

Total E.S.P.	in	0.23
Total E.S.P. de diseñ	in	0.50

Tabla 3.8. Cálculo de caída de presión total

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Cálculo de potencia eléctrica

3.2.4.1 Determinación de la potencia del equipo de extracción e inyección

Para ello se realizó un cuadro del cálculo de caída de presión en cada ramal o montante del equipo de extracción, tenemos:

PARÁMETRO DE CÁLCULO

EDIFICIO MULTIFAMILIAR ALMUJENA

Nivel	Código	fs	Caudal Q (cfm)	Caudal Q (m3/seg)	Pa	n	Potencia P (Hp)	Potencia de diseño P (Hp)
SOTANO 2	EA-01	1.25	3000	1.42	125	0.5	0.47	0.25
SOTANO 1	EA-02	1.25	3000	1.42	125	0.5	0.47	0.25

PARÁMETRO DE CÁLCULO

EDIFICIO MULTIFAMILIAR ALMUJENA

Nivel	Código	fs	Caudal Q (cfm)	Caudal Q (m3/seg)	Pa	n	Potencia P (Hp)	Potencia de diseño P (Hp)
SOTANO 2	IA-01	1.25	2900	1.37	125	0.5	0.46	0.25

Tabla 3.9. Cálculo de potencia

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Determinación de la ubicación y cantidad de sensores de monóxido de carbono

En el sistema de extracción de monóxido de carbono es vital el conexionado de los sensores de monóxido, los cuales testean los niveles de concentración en los recintos.

En esta validación se consideró un radio de 12 metros para el alcance de detección de los sensores que se consideraron en una cantidad de 02 en cada sótano. A continuación, se grafica lo detallado en las siguientes figuras:

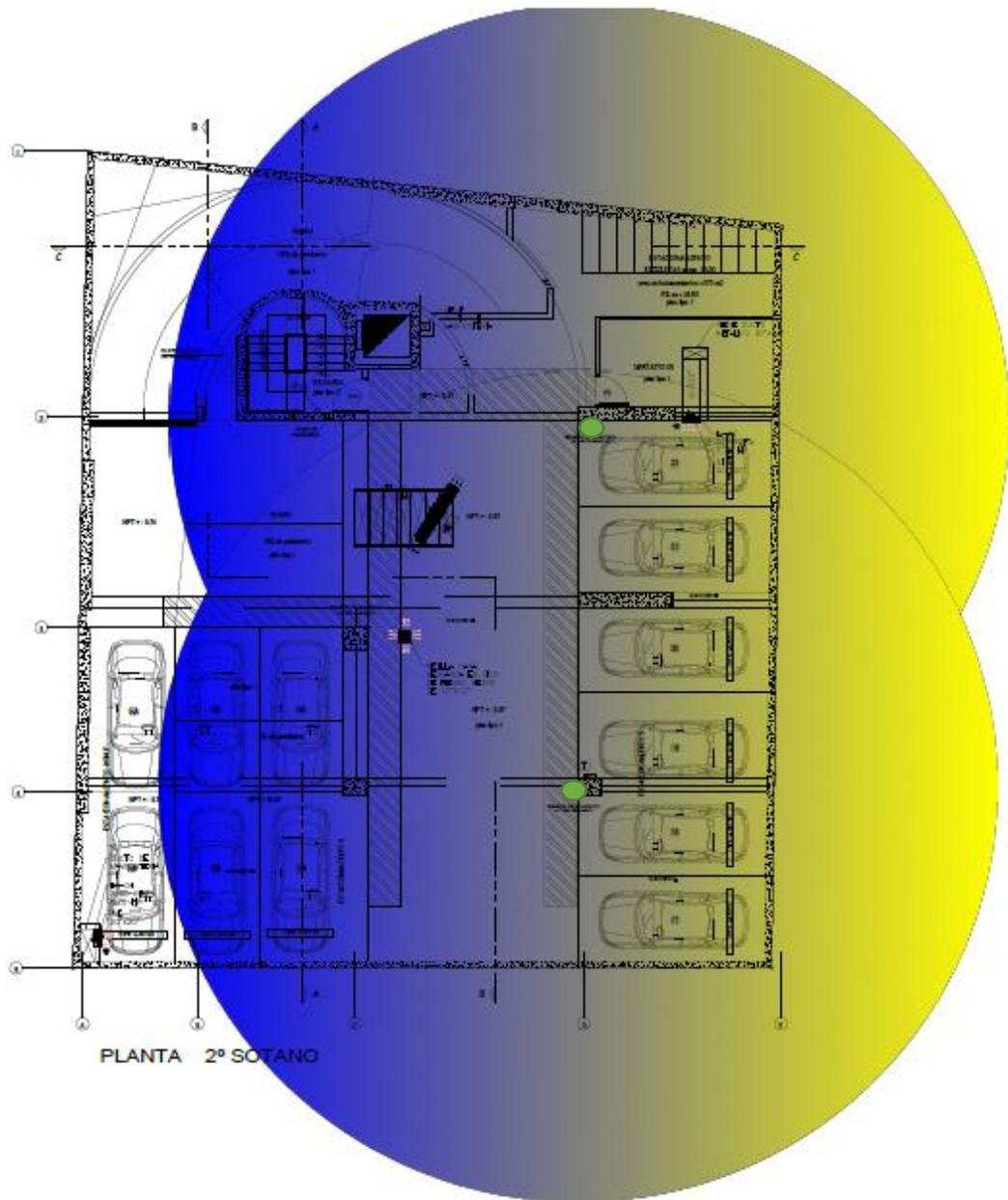


Figura 3.4. Radio de alcance para los sensores de monóxido de carbono en el segundo sótano

Fuente: Ecohabitat Desarrollo Inmobiliario S.A.C.

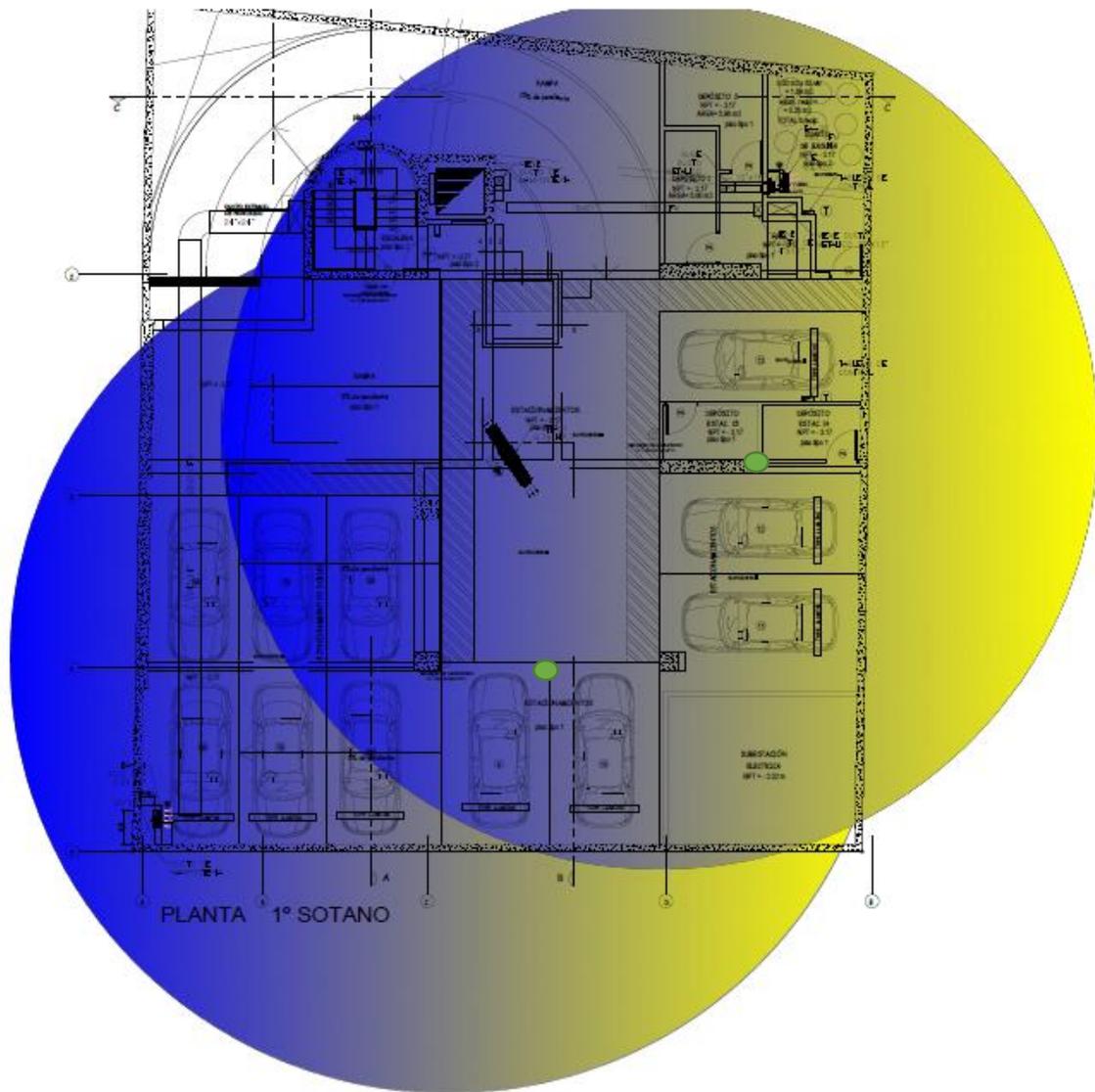
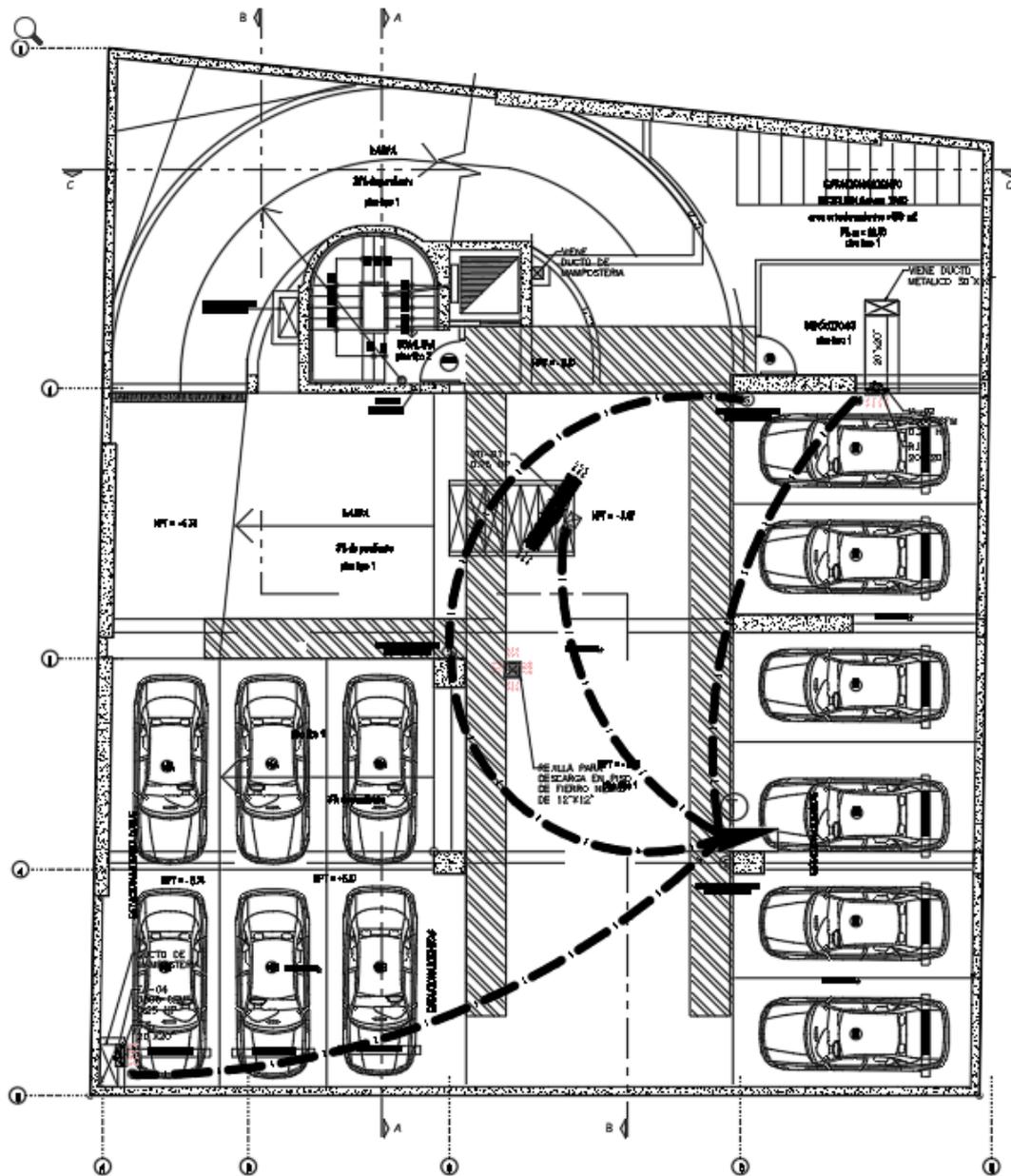


Figura 3.5. Radio de alcance para los sensores de monóxido de carbono en el primer sótano

Fuente: Ecohabitat Desarrollo Inmobiliario S.A.C.

3.2.6 Determinación de la ubicación y cantidad de tableros de fuerza y control

En esta validación se consideraron 01 tablero de control en cada sótano. A continuación, se grafica lo detallado en las siguientes figuras



PLANTA 2º SOTANO

Figura 3.6. Ubicación de tableros eléctricos en el segundo sótano

Fuente: Ecohabitat Desarrollo Inmobiliario S.A.C.

3.2.7 Simulación CFD

3.2.7.1 Supuestos de simulación

Para la simulación del sistema de extracción de monóxido del edificio multifamiliar” Almudena “, los ventiladores, los extractores y los equipos de impulsión tipo Jet Fan serán evaluados en el programa de simulación CFD, para ello se debe considerar definir algunos supuestos:

- ✓ La simulación CFD es de flujo isotérmico, es decir, no se tiene en cuenta variaciones de temperatura en toda la superficie simulada.
- ✓ Los equipos de impulsión Jet Fan son unidireccionales y sirven para desplazar un volumen de aire con partículas de monóxido (unidad de medida ppm).
- ✓ Desde el punto de inyección hacia el punto de extracción se produce la misma depresión en ambas ventanas de salida.
- ✓ Los valores de caudal de los equipos en los que fueron evaluados en la simulación CFD, corresponden a los valores obtenidos de las determinaciones que indica 03 maneras de obtención de caudal quedándose con la de mayor valor, en este caso el valor por calculo recomendado por ASHRAE y corresponden a los valores obtenidos de las tablas 3.3 y 3.6.
- ✓ Los valores de caída de presión de los equipos evaluados en la simulación CFD, corresponden a los valores obtenidos de las tablas 3.7 y 3.8.

3.2.7.2 Parámetros de simulación

a) Datos del equipo de impulsión Jet Fan

Los Jet Fan seleccionados, con códigos VTI-01 en planos, modelo TCP (Soler y Palau) y diámetro de 660 mm.

Con estos datos se define un caudal de 2,900 CFM y un área de la boca de salida de 0.34 m².

Nombre	Caudal CFM	Pulg. C.A.	Características eléctricas	Tipo de arranque
VTI-01	2,900	-	220-3F-60HZ-0.75HP	DIRECTO

Tabla 3.10. Características electromecánicas de los equipos Jet Fan

Fuente: Elaboración propia

b) Datos del equipo de inyección de aire

El ventilador de inyección de aire fresco, modelo axial HXB - 500 (Soler y Palau) con código en planos IA-02, desplaza un caudal de 3,471 CFM.

El área de salida de este inyector es de 0.3136 m².

Nombre	Caudal CFM	Pulg. C.A.	Características eléctricas	Tipo de arranque
IA-01	3,471	0.23	220-3F-60HZ-0.25HP	DIRECTO

Tabla 3.11. Características electromecánicas del equipo inyector

Fuente: Elaboración propia

c) Datos del equipo de Extracción de aire

El extractor de aire, modelo axial HXB - 500 (Soler y Palau) con código en planos EA-01, desplaza un caudal de 3,471 CFM.

El área de salida de este inyector es de 0.3136 m².

Nombre	Caudal CFM	Pulg. C.A.	Características eléctricas	Tipo de arranque
EA-01	3,471	0.59	220-3F-60HZ-0.25HP	DIRECTO

Tabla 3.12. Características electromecánicas del equipo extractor

Fuente: Elaboración propia

El extractor de aire, modelo axial HXB - 500 (Soler y Palau) con código en planos EA-02, desplaza un caudal de 3,181 CFM.

El área de salida de este inyector es de 0.3136 m².

Nombre	Caudal CFM	Pulg. C.A.	Características eléctricas	Tipo de arranque
EA-02	3,181	0.59	220-3F-60HZ-0.25HP	DIRECTO

Figura 3.9. Características electromecánicas del equipo extractor

Fuente: Elaboración propia

d) Directrices de niveles de concentración de monóxido de carbono

Como se ha detallado anteriormente el monóxido de carbono, cuya fórmula química es el CO, es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico y puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados.

Las siguientes directrices han sido determinadas de tal modo, que no se exceda el nivel de carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado.

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

Figura 3.10. Efectos de la concentración de monóxido de carbono

Fuente: (Consejería de Salud de la Región de Murcia, s.f.)

***Sótano 01**

Cantidad de autos: 11 autos

Volumen: 886.55 m³

Monóxido de carbono máximo admisible: 50 ppm \approx 60mg/m³. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

Densidad del aire 1.293 kg/m³

Entonces, tenemos un aproximado de 53.19 kg de monóxido de carbono máximo

admitido en el sótano 01.

La cantidad de masa de aire en el sótano 01 es de 1146.31 kg.

De estos datos, obtenemos la proporción máxima admitida de monóxido que sería igual a 4.64% de la masa total del aire del sótano 01.

***Sótano 02**

Cantidad de autos: 12 autos

Volumen: 793.55 m³

Monóxido de carbono máximo admisible: 50 ppm \approx 60mg/m³. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

Densidad del aire 1.293 kg/m³

Entonces, tenemos un aproximado de 47.61 kg de monóxido de carbono máximo admitido en el sótano 02.

La cantidad de masa de aire en el sótano 02 es 1026.06 kg.

De estos datos, obtenemos la proporción máxima admitida de monóxido que sería igual a 4.64% de la masa total del aire del sótano 02.

*De acuerdo a la figura 3.8 tenemos que el cuerpo humano soporta 50 ppm (4.64% de monóxido de carbono por 30 minutos) como máximo.

Para un mejor entender de estos resultados, daremos el siguiente ejemplo:

Si el equipo del sistema de extracción de monóxido se encuentra funcionando durante unos 15 minutos aproximadamente, veremos que la concentración de monóxido disminuye al 22% del 50% de la masa total del aire que se tenía inicialmente.

Entonces, podemos indicar que, si tenemos 450 ppm (4.64% de monóxido de carbono por 30 minutos) en el sótano, los detectores de monóxido encenderán

automáticamente los equipos de ventilación mecánica y extraerán la totalidad de concentración del monóxido en los sótanos.

Finalmente, para una mejor visualización de los resultados de la simulación CFD, tomaremos que las condiciones iniciales serán de 50% de CO y 50% de aire.

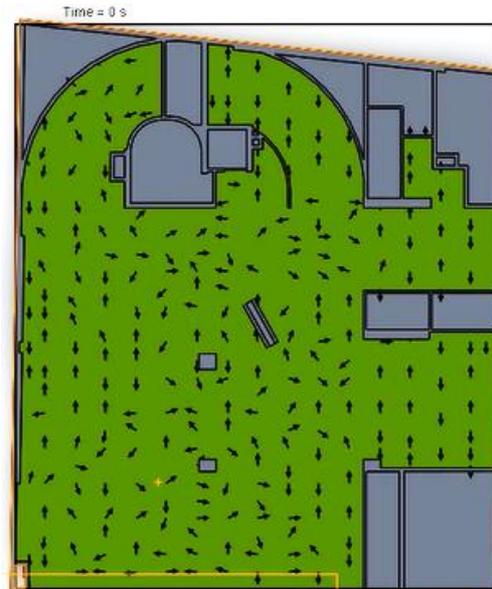


Figura 3.11. Condiciones iniciales de 50% aire y 50% monóxido de carbono en el sótano

Fuente: Elaboración propia

3.2.7.3 Software de simulación

Las simulaciones se han realizado en el software de elementos finitos llamado Solidworks 2018.

El software CAD SOLIDWORKS® es una aplicación de automatización de diseño mecánico que les permite a los diseñadores croquizar ideas con rapidez, experimentar con operaciones y cotas, y producir modelos y dibujos detallados. (Dassault Systemes SolidWorks Corporation, pág. 6)

El proceso consiste en crear escenarios, equipos y condiciones reales a condiciones virtuales del modelado CAD.

Para este caso se utilizó el software SOLIDWORKS® Flow Simulation, que es una intuitiva solución de dinámica de fluidos computacional (CFD, del inglés

"Computational Fluid Dynamics") integrada en SOLIDWORKS 3D CAD que le permite simular de forma rápida y sencilla flujos de líquido y gas a través y alrededor de sus diseños para calcular así el rendimiento y las capacidades del producto. Utiliza el método de volumen finito para calcular el rendimiento del producto a través de estudios hipotéticos que le permiten llevar a cabo la optimización utilizando los resultados. (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 2021)



Figura 3.12. Solidworks Flow Simulation

Fuente: (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 2021)

Para lo que se aplican parámetros a los equipos mecánicos, en las entradas de aire, las salidas de aire y también se tiene un punto de inicio donde se especifican las condiciones iniciales.

Por lo cual, se requiere de ciertos requisitos de hardware para poder desarrollar el software y arroje los resultados, como los siguientes:

Requisitos previos y del sistema

Antes de instalar SOLIDWORKS Visualize y SOLIDWORKS Visualize Boost, cada equipo debe cumplir los siguientes requisitos previos:

- un número de serie de SOLIDWORKS Visualize
- un número de serie de SOLIDWORKS Visualize Boost

Cada equipo que ejecuta SOLIDWORKS Visualize o SOLIDWORKS Visualize Boost debe cumplir los siguientes requisitos:

- Windows® 7 o superior (de 64 bits)
- CPU de doble núcleo; se recomiendan cuatro núcleos
- 8 GB de RAM; se recomiendan 16 GB
- 2 GB de espacio libre en disco; se recomiendan 5 GB
- 2 GB o más de RAM de GPU; se recomiendan 4 GB
- Tarjeta gráfica NVIDIA®: NVIDIA Quadro®/NVIDIA GeForce®/Tesla™ con chip NVIDIA Kepler™ como mínimo; se recomienda una configuración de doble GPU con tarjetas NVIDIA Maxwell™ como mínimo para disfrutar de una mejor experiencia
- Se recomienda la versión del controlador NVIDIA 385.41 o superior
- Se necesita un controlador NVIDIA compatible con CUDA® 9.0 o superior
- Conexión de HDR Light Studio: HDR Light Studio v5.3.3 o superior, excepto v5.4
- Se necesita un mínimo de 4 GB de memoria de vídeo para poder utilizar la función Denoiser



Si no tiene instaladas tarjetas gráficas NVIDIA, SOLIDWORKS Visualize utiliza de manera predeterminada la unidad de procesamiento central (CPU) y usa estas tarjetas para la aceleración de la GPU. Además, las tarjetas NVIDIA basadas en la arquitectura Fermi™ ya no son compatibles con la aceleración por GPU.

Figura 3.13. Requisitos previos de sistema para Solidworks 2018

Fuente: (DASSAULT SYSTEMES, 2018)

Asimismo, el hardware de la computadora cumplió con lo detallado:

Elemento	Valor
Nombre del SO	Microsoft Windows 10 Pro
Versión	10.0.19041 Compilación 19041
Descripción adicional del SO	No disponible
Fabricante del SO	Microsoft Corporation
Nombre del sistema	PROYECTO501
Fabricante del sistema	System manufacturer
Modelo del sistema	System Product Name
Tipo de sistema	x64-based PC
SKU del sistema	SKU
Procesador	Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz, 3401 Mhz, 4 procesadores principales, 8 procesadores lógicos
Versión y fecha de BIOS	American Megatrends Inc. 0230, 12/10/2015
Versión de SMBIOS	3.0
Versión de controladora integr...	255.255
Modo de BIOS	Heredado
Fabricante de la placa base	ASUSTeK COMPUTER INC.
Producto placa base	Z170-E
Versión de la placa base	Rev 1.0x
Rol de plataforma	Escritorio
Estado de arranque seguro	No compatible
Configuración de PCR7	Enlace no posible
Directorio de Windows	C:\WINDOWS
Directorio del sistema	C:\WINDOWS\system32
Dispositivo de arranque	\Device\HarddiskVolume1
Configuración regional	Perú
Capa de abstracción de hardw...	Versión = "10.0.19041.488"
Nombre de usuario	PROYECTO501\EDWIN
Zona horaria	Hora est. Pacífico, Sudamérica
Memoria física instalada (RAM)	16.0 GB
Memoria física total	15.9 GB
Memoria física disponible	10.4 GB
Memoria virtual total	18.3 GB
Memoria virtual disponible	10.5 GB
Espacio de archivo de paginaci...	2.38 GB
Archivo de paginación	C:\pagefile.sys
Protección de DMA de kernel	Desactivado
Seguridad basada en la virtuali...	No habilitado
Compatibilidad con cifrado de...	Razones del error de cifrado automático de dispositivo: No se puede usar TPM. No se admite un enlac...
Hyper-V - Extensiones de modu...	Sí
Hyper-V - Extensiones de tradu...	Sí
Hyper-V - Virtualización habilit...	Sí
Hyper-V - Protección de ejecuci...	Sí

Figura 3.14. Datos del equipo computador donde se realizó la simulación

Fuente: Elaboración propia

3.2.7.4 Disposición de equipamiento para la simulación

Las imágenes obtenidas de la simulación CFD se realizaron con la disposición correcta de los Jet Fan, equipos inyectoros y equipos extractores, de acuerdo a los planos en CAD presentados.

Con esta disposición de equipos, se han realizado todas las demás simulaciones.

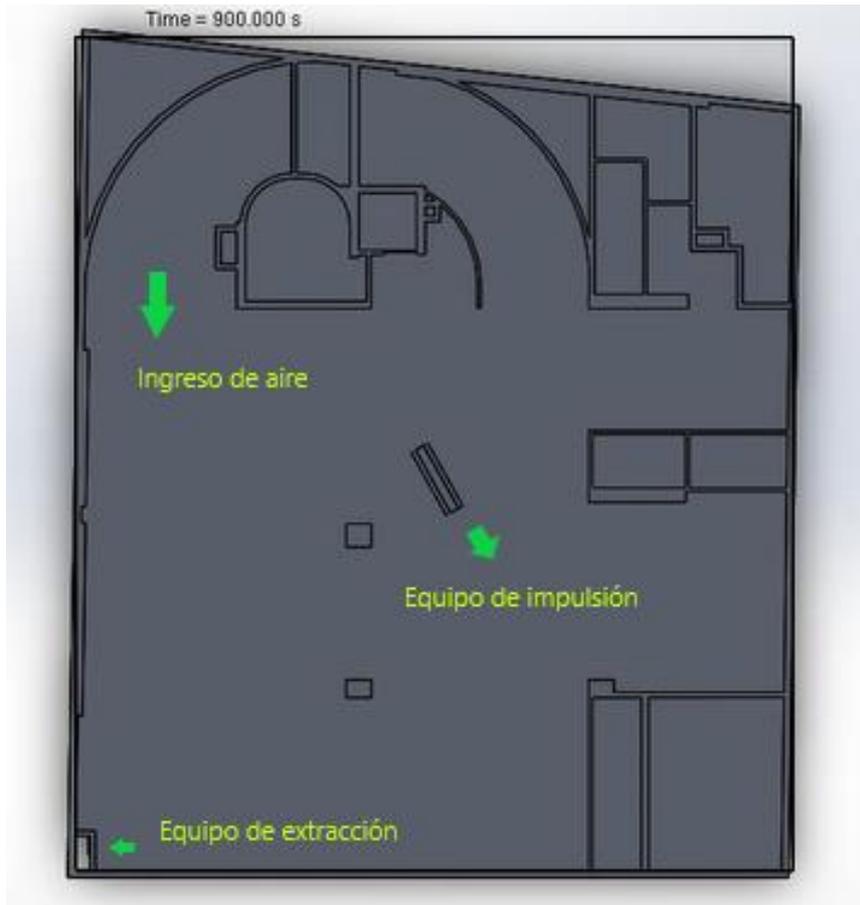


Figura 3.15. Disposición de los Jet Fan en el sótano 01 del edificio “Almudena”

Fuente: Elaboración propia.

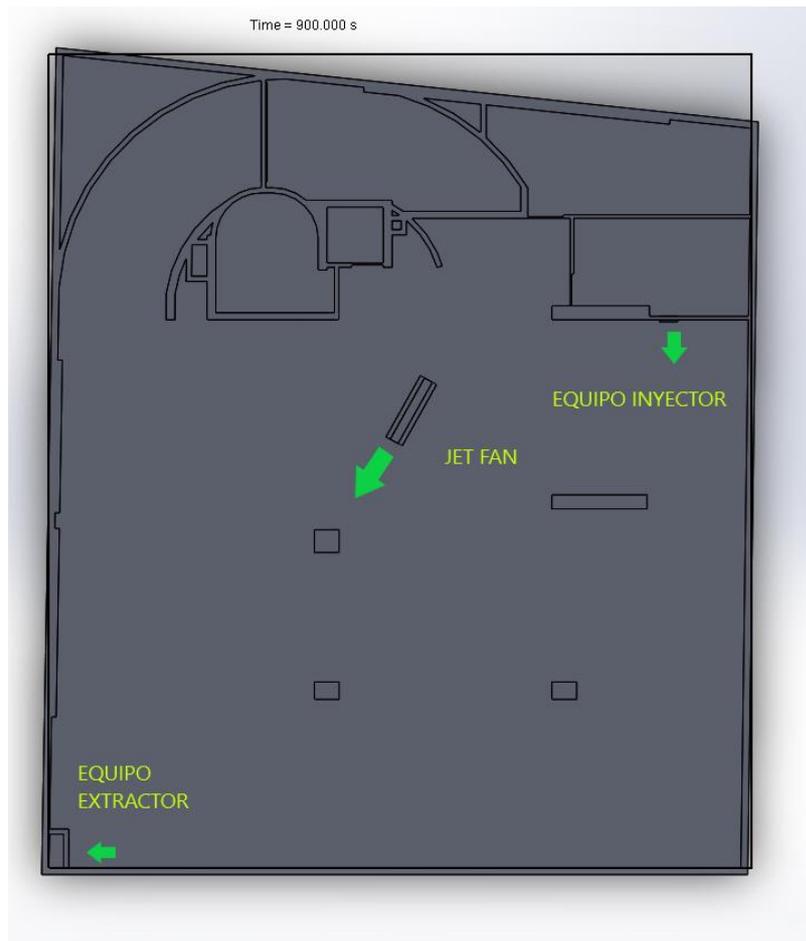


Figura 3.16. Disposición de los Jet Fan en el sótano 02 del edificio “Almudena”

Fuente: Elaboración propia.

3.2.7.5 Proceso de simulación CFD

Las imágenes obtenidas de la simulación CFD se realizaron con la disposición correcta de los Jet Fan, equipos inyectoros y equipos extractores, de acuerdo a los planos en CAD presentados.

Sótano 01

a) Time: En 0 segundos

Simulación vista de planta en condiciones de concentración de 50% CO (color verde) y 50% de aire (color verde).

La barra o leyenda de colores indica:

Color Rojo: 100% CO vs 0% Aire

Color Azul: 0% CO vs 100% Aire

Esto se demuestra en la Figura:



Figura 3.17. Simulación en 0 segundos

Fuente: Elaboración propia

b) Time: En 450 segundos

Simulación vista de planta en condiciones de variación de concentración de monóxido (color verde, azul y celeste).

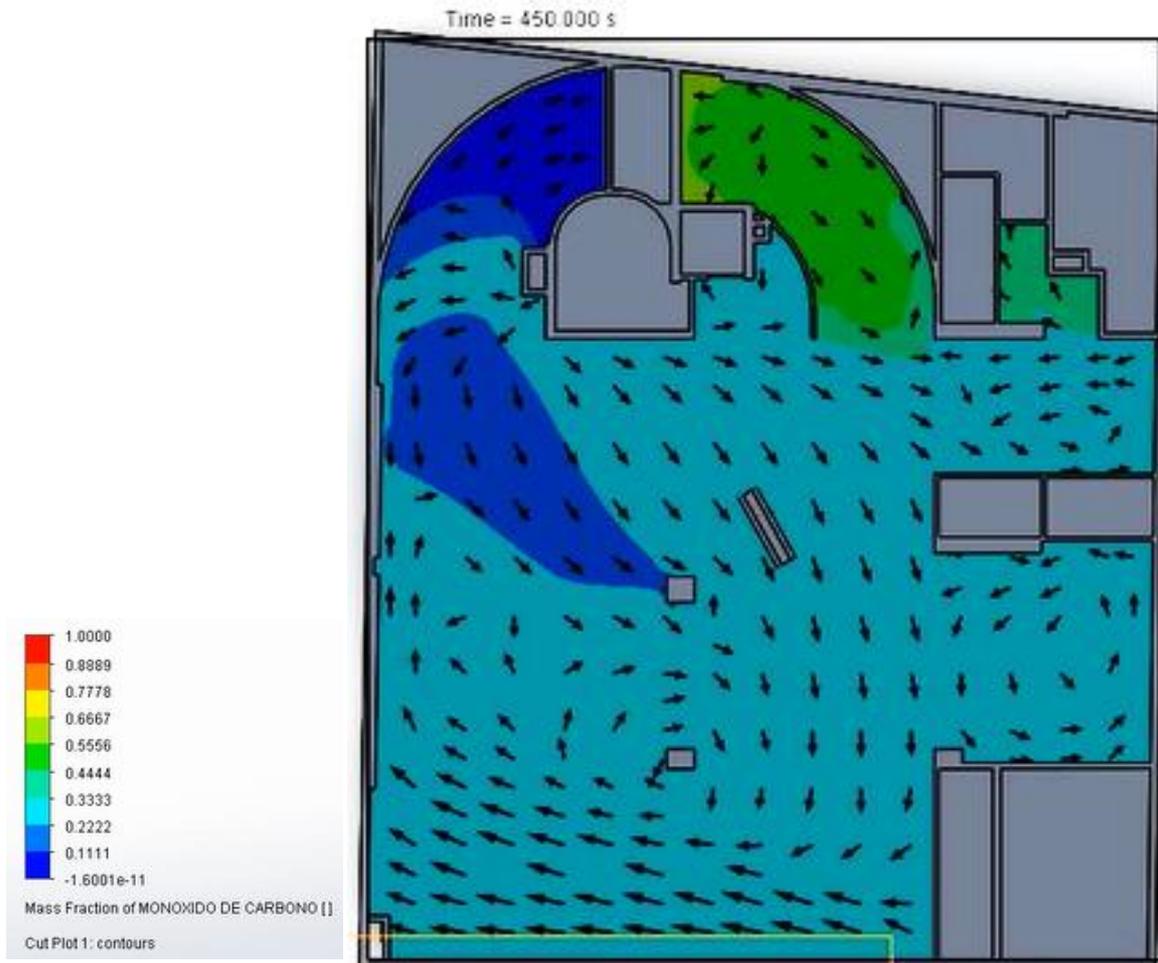
Aquí vemos el ingreso de aire natural por la rampa de ingreso al sótano 01 (color azul) y la variación de concentración de monóxido en el área, que se ve reducida al 33% CO (color celeste).

La barra o leyenda de colores indica:

Color Rojo: 100% CO vs 0% Aire

Color Azul: 0% CO vs 100% Aire

Esto se demuestra en la Figura:



.Figura 3.18.Simulación en 450 segundos

Fuente: Elaboración propia

c) Time: En 900 segundos

Simulación vista de planta en condiciones de variación de concentración de monóxido (color verde, azul y celeste).

Aquí vemos la concentración de monóxido ha sido desplazado en su mayoría en el sótano 01 por la acción de los equipos de ventilación mecánica, quedando partes de concentración de CO en la rampa que lleva al sótano 02 (color verde y celeste).

La barra o leyenda de colores indica:

Color Rojo: 100% CO vs 0% Aire

Color Azul: 0% CO vs 100% Aire

Esto se demuestra en la Figura:

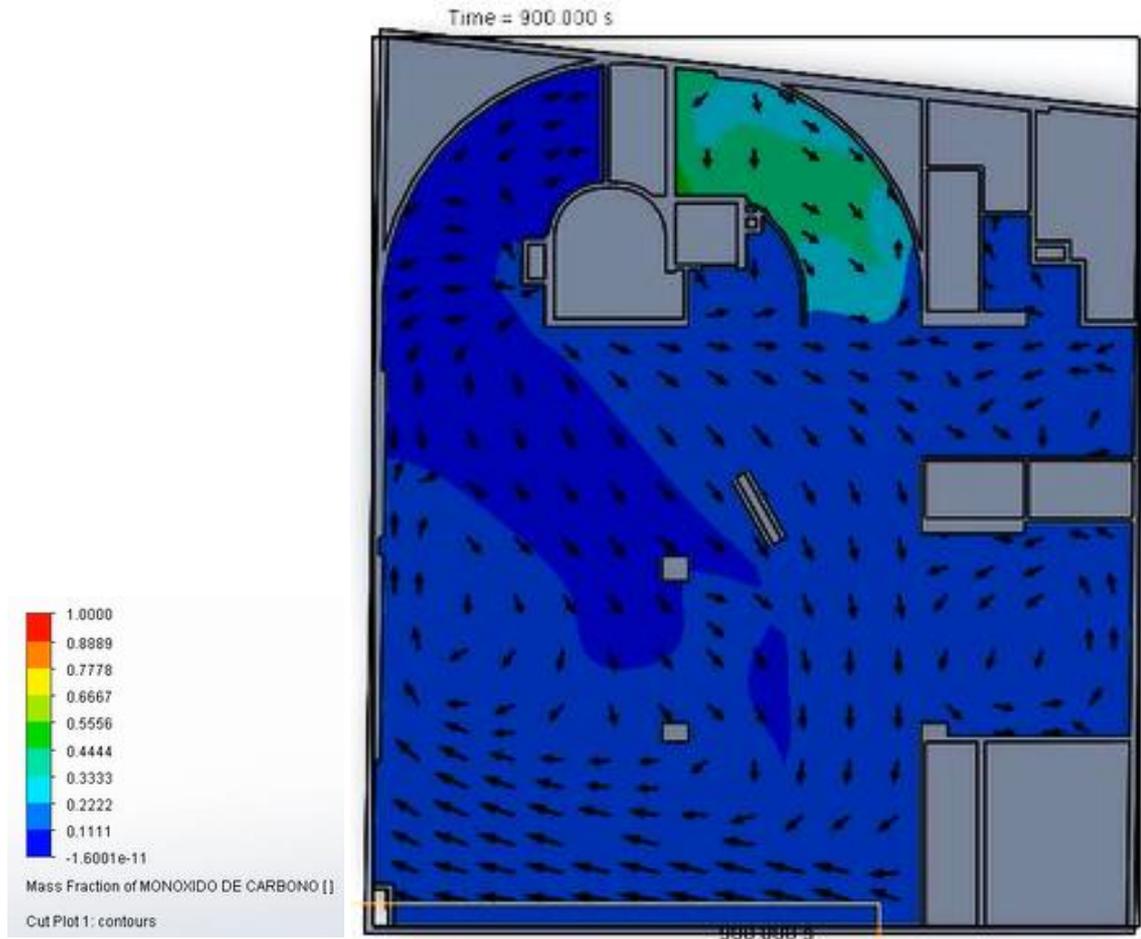


Figura 3.19. Simulación en 900 segundos

Fuente: Elaboración propia

Sótano 02

a) Time: En 0 segundos

Simulación vista de planta en condiciones de concentración de 50% de CO (color verde). y 50% de aire (color verde).

La barra o leyenda de colores indica:

Color Rojo: 100% CO vs 0% Aire

Color Azul: 0% CO vs 100% Aire

Esto se demuestra en la Figura:



Figura 3.20. Simulación en 0 segundos

Fuente: Elaboración propia

b) Time: En 450 segundos

Simulación vista de planta en condiciones de variación de concentración de monóxido (color azul y celeste).

Aquí vemos variación de concentración de monóxido más notoria (color azul), debido a la inyección de aire de parte del ventilador axial lo que hace ver reducida al 22% CO en ciertas áreas. (Color celeste). Y otras más de color azul donde se ha desplazado casi en su totalidad la concentración de monóxido.

La barra o leyenda de colores indica:

Color Rojo: 100% CO vs 0% Aire

Color Azul: 0% CO vs 100% Aire

Esto se demuestra en la Figura:

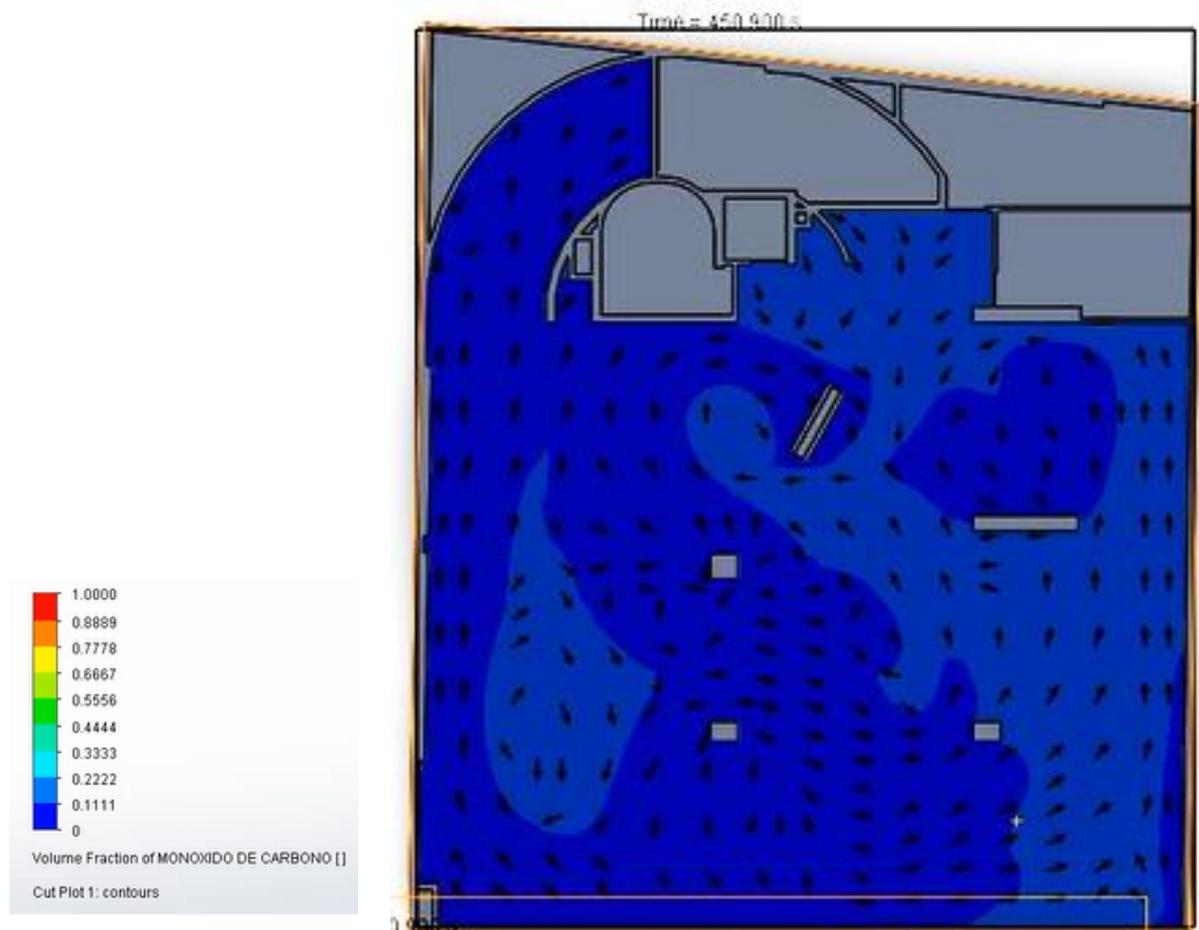


Figura 3.21. Simulación en 450 segundos

Fuente: Elaboración propia

c) Time: En 900 segundos

Simulación vista de planta en condiciones de variación de concentración de monóxido (color verde, azul y celeste).

Aquí vemos la concentración de monóxido ha sido desplazado en su mayoría en el sótano 02 (color azul).

La barra o leyenda de colores indica:

Color Rojo: 100% CO vs 0% Aire

Color Azul: 0% CO vs 100% Aire

Esto se demuestra en la Figura

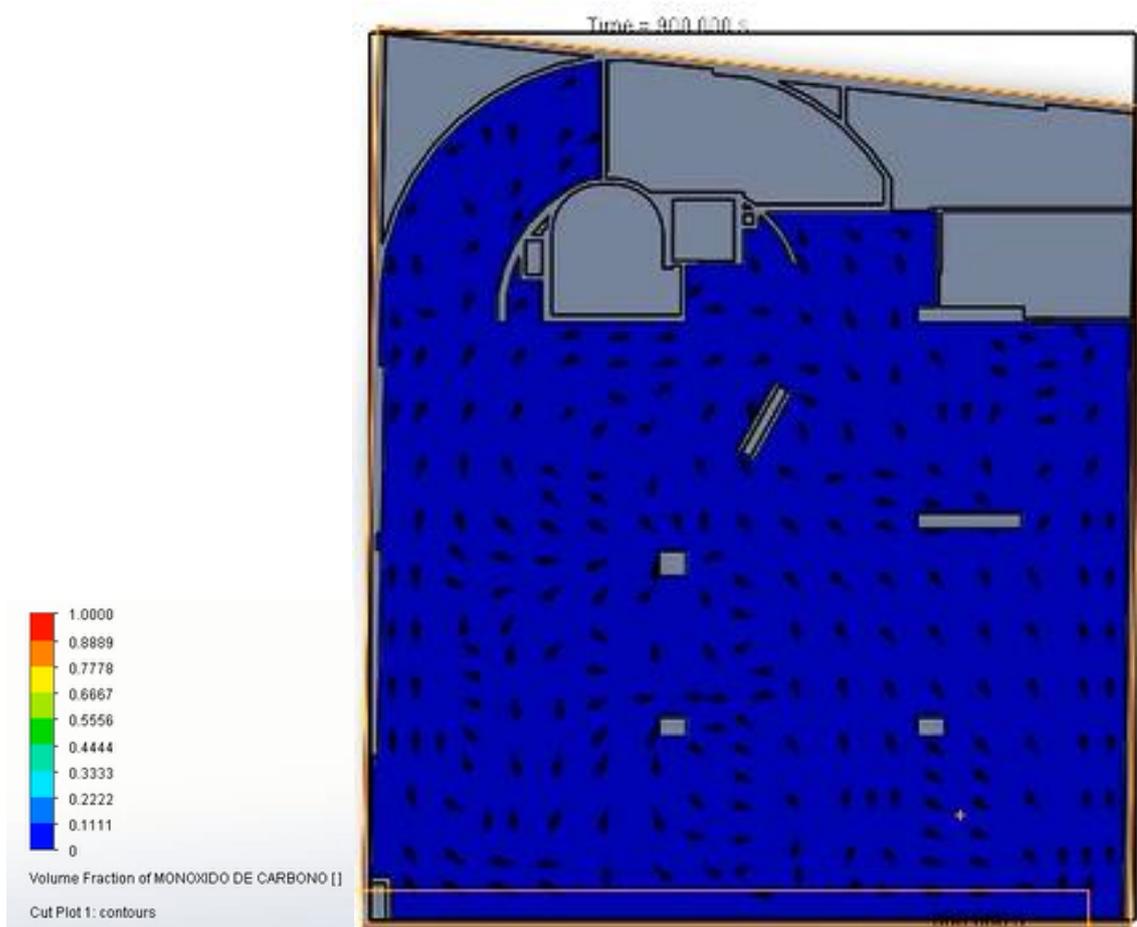


Figura 3.22. Simulación en 900 segundos

Fuente: Elaboración propia

3.3 Resultados

3.3.1 Diseño preliminar del proyecto

De acuerdo a los cálculos realizados en los parámetros de cálculo, los equipos extractores e inyectores del sistema de extracción de monóxido de carbono se encuentran diseñados aun caudal de menor al obtenido por el actual R.N.E.

- ✓ Tenemos que el equipo inyector IA-01 está inyectando 2,900 Cfm, pero según los nuevos lineamientos debe inyectar 3,471 Cfm al sótano 02 del edificio multifamiliar.
- ✓ El equipo extractor EA-01 está inyectando 3,000 Cfm, pero según los nuevos lineamientos debe inyectar 3,471 Cfm al sótano 02 del edificio multifamiliar.
- ✓ El equipo extractor EA-02 está inyectando 3,000 Cfm, pero según los nuevos lineamientos debe inyectar 3,181 Cfm al sótano 01 del edificio multifamiliar

De acuerdo a los cálculos realizados en los parámetros de cálculo, el equipo inyector del sistema de extracción de monóxido de carbono en el sótano 02, presentan un déficit de caudal del 16.4% del valor obtenido por el método de acuerdo a ASHRAE.

Igualmente, el equipo extractor EA-01 del sótano 02, presenta un déficit de caudal del 13.6% y el equipo extractor EA-02 del sótano 01, presenta un déficit de caudal del 5.7% del valor obtenido por el método de acuerdo a ASHRAE.

Es decir, los equipos extractores e inyectores no se encuentran extrayendo e inyectando el caudal necesario que se requiere.

De acuerdo a los cálculos realizados en los parámetros de cálculo, los equipos extractores del sistema de extracción de monóxido de carbono se encuentran diseñados a una caída de presión menor.

- ✓ Tenemos que los equipos extractores están diseñados a 0.50" c.a., pero en los parámetros de cálculo realizados se calculó una caída de 0.59" c.a. lo que podría originar una baja extracción en el equipo lo que representa un

15% del valor hallado y que ello dificulte el desplazamiento del aire hacia la descarga.

De acuerdo a los cálculos realizados en los parámetros de cálculo, los equipos extractores e inyectores han sido calculados con menores valores de potencia, si bien esta fórmula solo brinda un aproximado, muestra que el equipo seleccionado para su diseño está mal dimensionado y deberá ser usado por un equipo de más capacidad.

3.3.2 Sistema Actualizado Según EM.030.

Los cálculos de caudal del sistema optimizado, han sido desarrollados de acuerdo a los lineamientos del R.N.E. actual, en él se indica que se deberá utilizar el caudal de mayor valor entre los tres métodos de obtención, por lo que en este caso se eligió el método según ASHRAE. A continuación, se brinda un cuadro comparativo de los métodos de caudal que se seleccionó.

EXTRACCION			
Nivel	Metodo ASHRAE CFM	Por renovaciones CFM	Por velocidad CFM
SOTANO 2	3,471	2,462	2,462
SOTANO 1	3,181	2,818	2,333

INYECCION			
Nivel	Metodo ASHRAE CFM	Por renovaciones CFM	Por velocidad CFM
SOTANO 2	3,471	2,462	2,462

Tabla 3.13. Cálculo mayor de caudal por el método ASHRAE

Fuente: Elaboración propia

Los valores de velocidad en los montantes se encuentran en 1,488 fpm, lo que significa que se encuentran en una velocidad adecuada que no generará mucho ruido y que presenta un tamaño adecuado.

Con respecto a la caída de presión en de los extractores e inyectores del sistema de extracción de monóxido de carbono tenemos que la caída de presión hará que

hay cambios con respecto a los modelos de equipos y sus potencias y características físicas y eléctricas, por lo que continuación se dispondrá de una tabla resumiendo todo lo actualizado.

Codigo	Nivel	Caudal CFM	Caida de presion in c.a.	Potencia HP	Caracteristicas electricas	Modelo	Marca	Cantidad Unid.
EA-01	SOTANO 2	3,471	0.59	0.5	220V-60HZ-1PH	HXB-500	Soler y Palau	1
EA-02	SOTANO 1	3,181	0.59	0.5	220V-60HZ-1PH	HXB-500	Soler y Palau	1
IA-01	SOTANO 2	3,471	0.23	0.5	220V-60HZ-1PH	HXB-500	Soler y Palau	1

Tabla 3.14. Cuadro de equipos Actualizados

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 3.21 y 3.22, donde se demuestra que no existen incongruencias con la corriente de aire que se quiere generar a través de los sótanos. El cálculo de la inyección de aire está equilibrado con la extracción de este fluido que se desea lograr. Por lo que se puede diferir que cumple con todos los requisitos para ser un sistema óptimo.

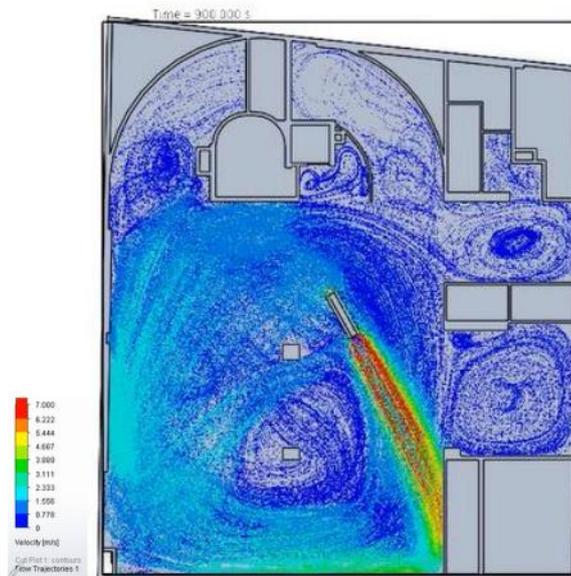


Figura 3.23. Diagrama en 3D de la configuración de los equipos, y análisis preliminar de los dardos de operación del sistema en el sótano 01

Fuente: Elaboración propia.

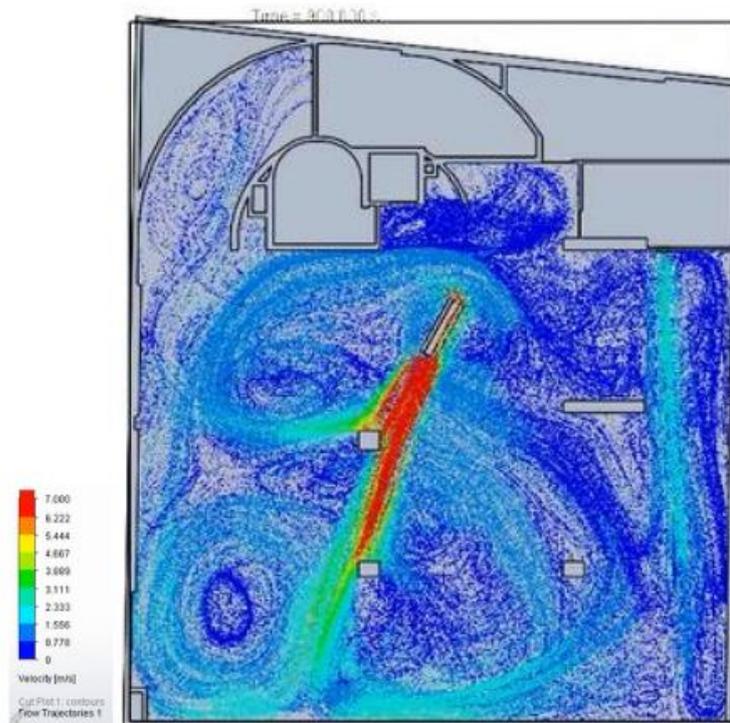


Figura 3.24. Diagrama en 3D de la configuración de los equipos, y análisis preliminar de los dardos de operación del sistema en el sótano 02

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Considerando todos los cálculos y resultados obtenidos anteriormente, concluimos que:

Según los cálculos realizados en base a la norma EM.030, se diseñó el sistema de extracción de monóxido de carbono del edificio “Almudena” – Lima en el periodo agosto – diciembre del 2021, concluyendo que los equipos de inyección y extracción de aire, deben tener en promedio 12.68% mayor capacidad, con respecto a lo calculado según la norma EM.030 (2016).

Se evaluó el resultado de los cálculos obtenidos mediante la norma EM.030 (2016) y la norma EM.030 (2020), concluyendo que: el inyector calculado según las norma EM.030 (2020) debe tener 16.4% mayor capacidad que el inyector calculado con la norma EM.030 (2016); de igual manera los extractores deben tener 13.6% mayor capacidad respecto a lo calculado en la norma EM.030 (2016), esto con la finalidad que el sistema pueda barrer con toda la acumulación de monóxido de carbono del edificio multifamiliar “Almudena”, y se pueda mantener los niveles de salubridad admisibles, según la norma EM.030 (2020) que indica 50ppm de CO como máximo.

El sistema de extracción de monóxido de carbono realizado mediante la norma EM.030 (2020), se sometió a un software de simulación CFD, concluyendo que la configuración es viable y que cumple con los requisitos de que el sistema pueda brindar un buen desplazamiento del aire con baja concentración de monóxido en el edificio multifamiliar “Almudena”.

Recomendaciones

- ✓ Se recomienda que todo proyecto diseñado previamente sea revisado y/o actualizado según la norma vigente, al momento de ejecución del proyecto, ya que la normativa se actualiza con el pasar del tiempo.

- ✓ Se recomienda tomar en cuenta que los resultados obtenidos mediante una simulación CFD son evaluados en parámetros ideales y que cualquier cambio de modelo de equipo o marca podría afectar al estudio ya que son evaluados con las fichas técnicas y curvas de cada equipo.

- ✓ Se recomienda realizar una prueba de funcionamiento del sistema una vez esté instalado, para verificar la orientación de los dardos de acción, y que no existan obstáculos en la proyección del empuje.

Referencias Bibliográficas

- American Society of Heating, Refrigeration and Air - Conditioning Engineers. (2021). *ASHRAE HANDBOOK* (I-P Edition ed., Vol. Fundamentals Volume).
- ASHRAE. (2019). <https://www.ashrae.org/>. Recuperado el 30 de junio de 2021, de <https://www.ashrae.org/file%20library/about/strategic%20plan/2019-strategic-plan-at-a-glance-spanish.pdf>
- ASHRAE. (2021). <https://www.ashrae.org/>. Recuperado el 30 de junio de 2021, de <https://www.ashrae.org/about/ashrae-en-espa%C3%B1ol>
- Bolaños Morera, P., & Chacón Araya, C. (Marzo de 2017). Intoxicación por monóxido de carbono . *Medicina Legal de Costa Rica*, 34(1), 137-146. doi:http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152017000100137&lng=en&tling=es
- Capcha Ticona, Y. E. (2019). *Diseño del sistema de exxtracción de monóxido de carbono para la mejora de la ventilación de los sótanos de estacionamientos del Centro Comercial La Rambla San Borja*. Tesis de grado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *TERMODINAMICA* (7 ed.). (V. Gonzáles y Pozo, & S. Sarmiento Ortega, Trads.) México D.F., México: McGraw-Hill/ Interamericana Editores.
- Consejeria de Salud de la Region de Murcia. (s.f.). *murcia salud*. Recuperado el 01 de 12 de 21, de <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398#>
- DASSAULT SYSTEMES. (2018). *Guia de instalacion y administracion de SOLIDWORKS*. Recuperado el 01 de Diciembre de 2021, de http://help.solidworks.com/2018/spanish/Installation/install_guide/c_viz_prereqs_system_reqs.htm
- Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. (2021). *Solidworks Flow Simulation*. Obtenido de <https://www.solidworks.com/es/product/solidworks-flow-simulation>
- Dassault Systemes SolidWorks Corporation. (s.f.). <https://my.solidworks.com/>. Obtenido de https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_ES.pdf

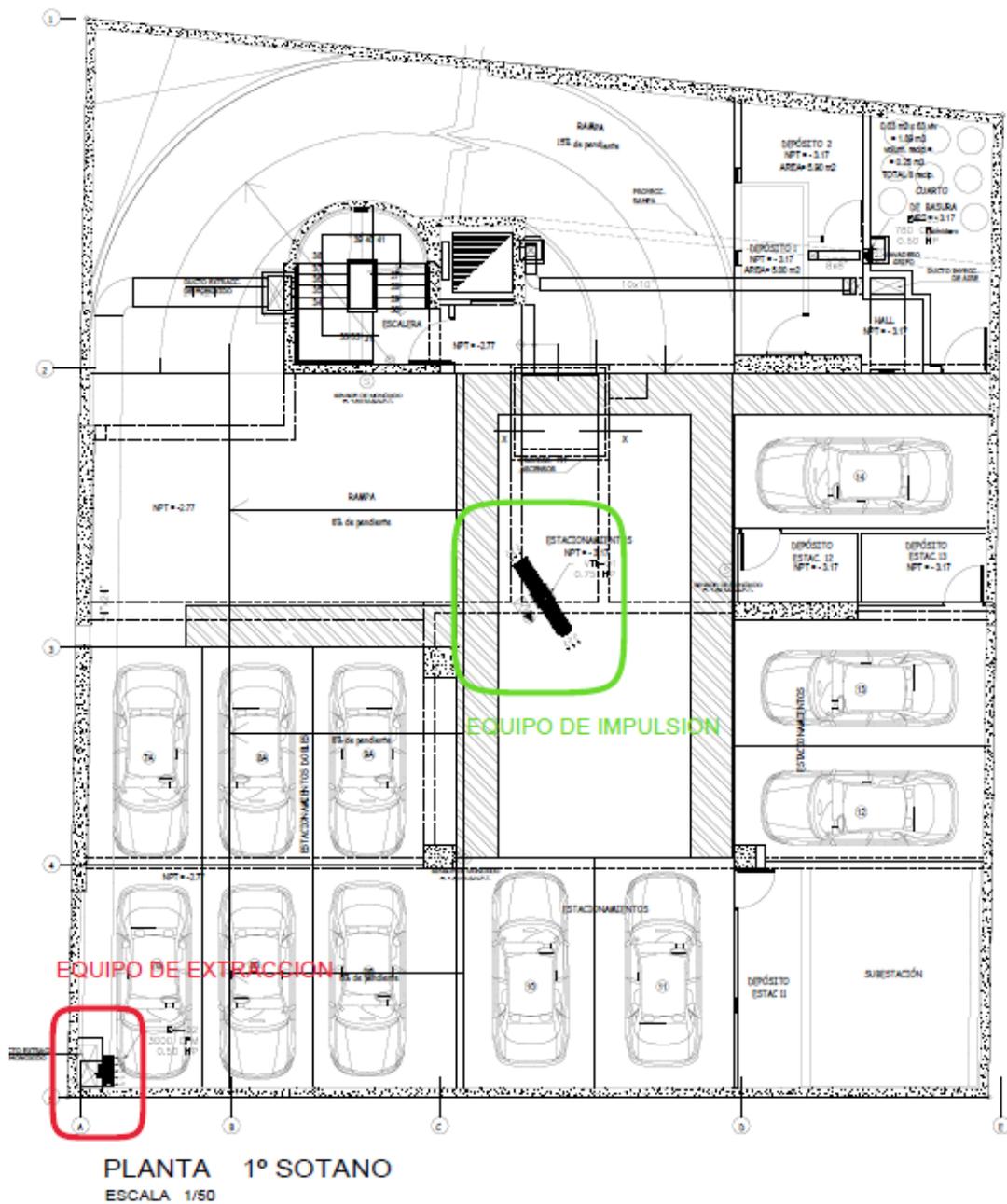
- Egea Mejia, J., & Garzón García, N. (2009). *Modelaje y dispersión de humos generado por un incendio en un espacio confinado - túnel ;a partir de una herramienta CFD*. Tesis de grado, Universidad de los Andes, Bogotá.
- Friotemp Perú. (s.f.). <https://www.friotemp.com>. Recuperado el 30 de junio de 2021, de <https://www.friotemp.com/producto/extraccion-de-monoxido-de-carbono/>
- John, A. J. (1995). *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS The Basics with Applications* (International Editions ed.). New York, USA: McGraw -Hill.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *Reglamento Nacional de Edificaciones .Norma Tecnica E.M. 030 Instalaciones de ventilación* . Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (4 de noviembre de 2021). <https://www.gob.pe/>. Recuperado el 30 de noviembre de 2021, de Plataforma única del estado peruano: <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Quinchía Hernández, R., & Puerta Sepúlveda, J. (1995). *VENTILACION INDUSTRIAL* (1 ed.). Medellín, Colombia: Litografía Dinámica.
- Remón Zavaleta, M. C. (2016). *Sistema de extracción de monóxido de carbono para estacionamientos en los sótanos del edificio corporativo Panorama* . [Tesis de grado]. Lima, Perú: Unviersidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Salazar Mera, E. (2018). *Diseño de un sistema de ventilación con detección de Monóxido de Carbono (Co) para sótanos de Estacionamiento de un edificio Multifamiliar*. Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Lambayeque.
- Sanchez, J., Salmerón, J. M., Sanchez, F. J., Alvarez, S., & Molina, J. L. (Abril de 2012). Ventilación natural; estudio aerodinámico mediante CFD de extractores pasivos y captadores de viento. *Revista Ingeniería de construcción*, 27(1), 40-56. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732012000100003>
- Soler & Palau. (2007). *Manual de ventilación*. México, D.F.: Soler & Palau Ventilation Group. Recuperado el 12 de junio de 2019

Téllez , J., Rodríguez, A., & Fajardo, A. (abril de 2006). Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental. *Revista de Salud Pública*, 8(1).

doi:http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642006000100010&lng=en&tlng=es.

Torres Melgarejo, M. A. (2015). *Diseño de un sistema de ventilación para estacionamiento subterráneo de tres niveles*. Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

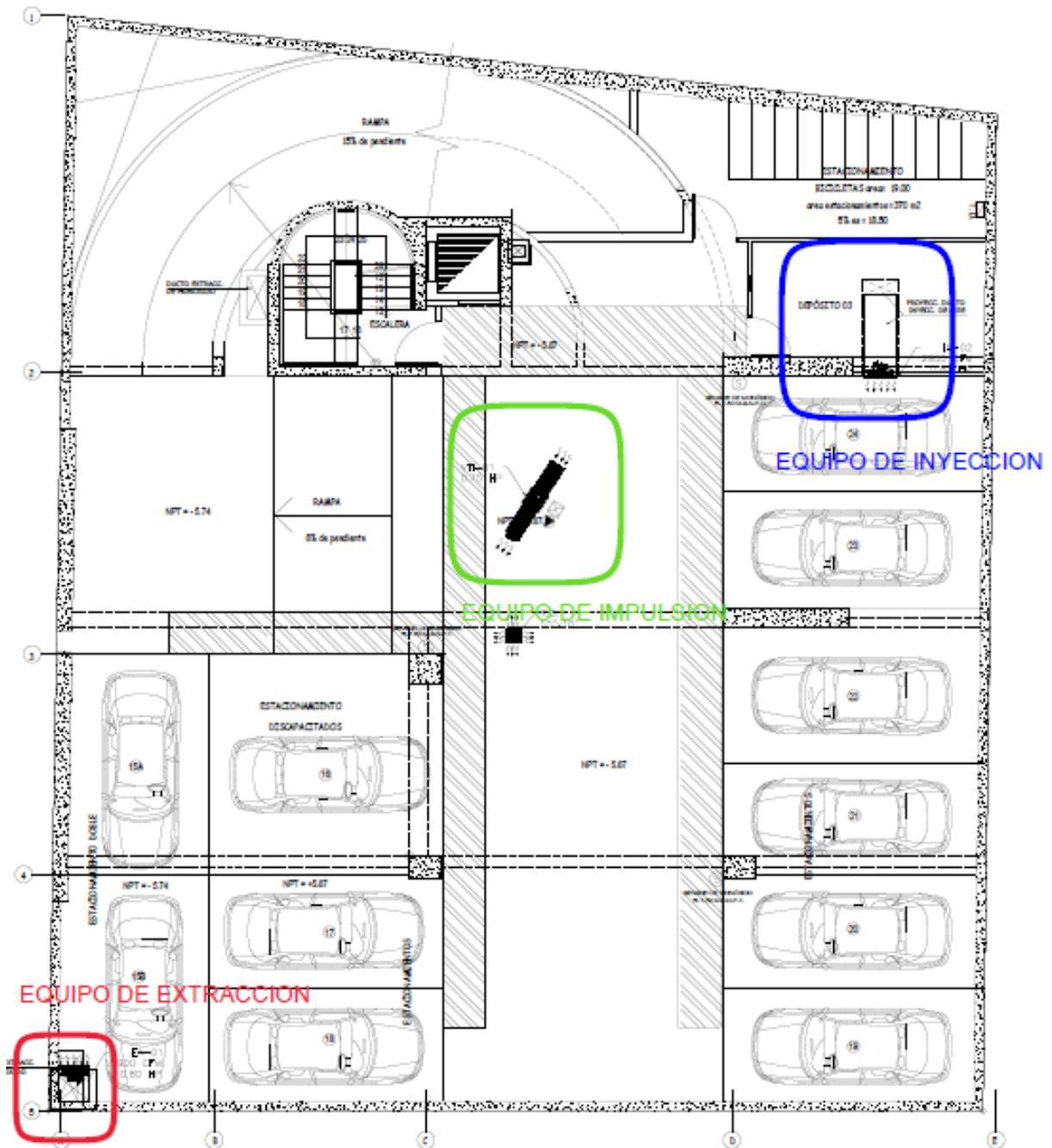
Anexos



Legenda de colores por niveles de estacionamiento

COLOR ROJO	COLOR VERDE	COLOR AZUL
Equipo de extracción	Equipo de impulsión	Equipo de inyección

Diseño preliminar

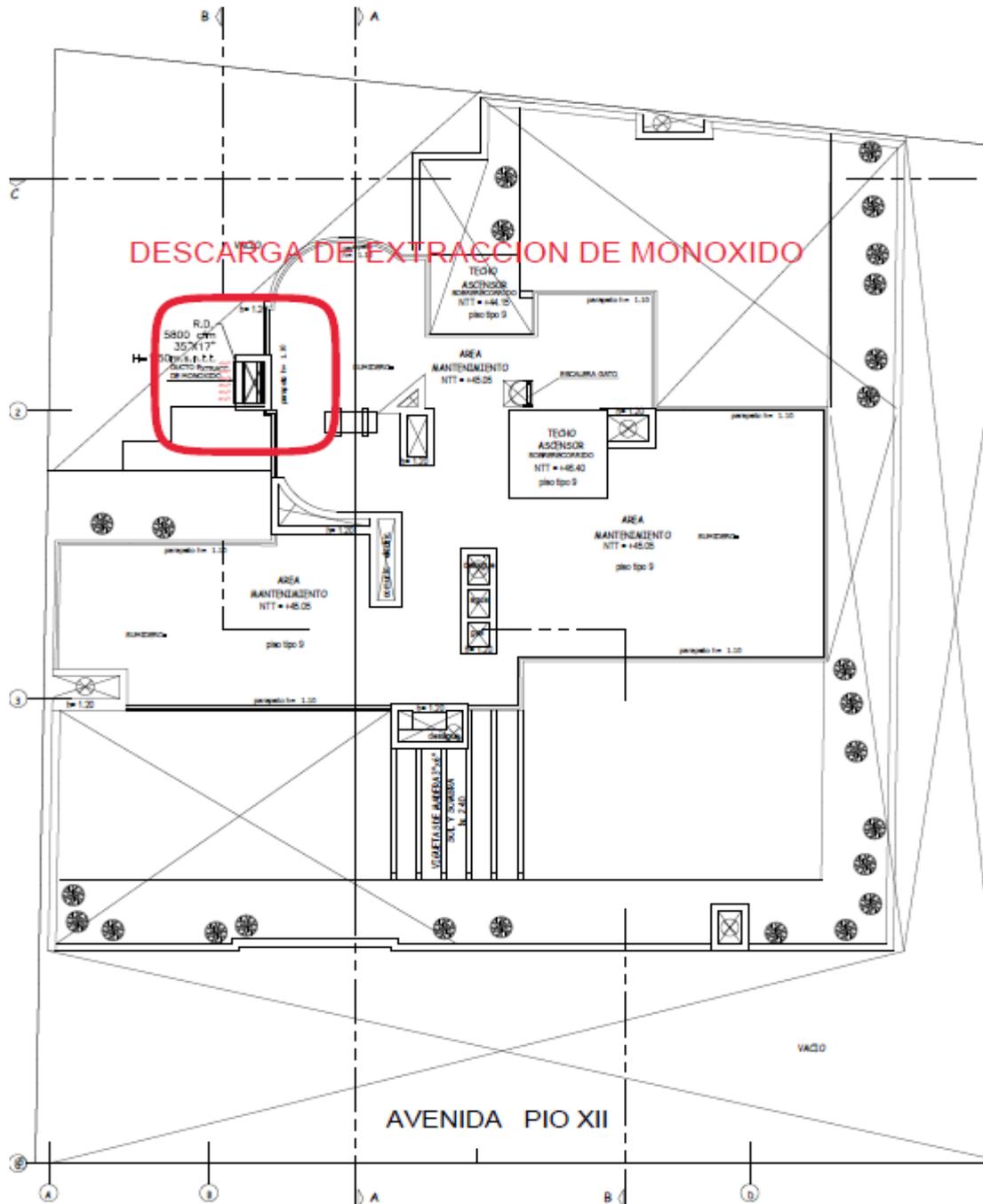


PLANTA 2º SOTANO
 ESCALA 1/50

Leyenda de colores por niveles de estacionamiento

COLOR ROJO	COLOR VERDE	COLOR AZUL
Equipo de extracción	Equipo de impulsión	Equipo de inyección

Diseño preliminar



PLANTA TECHOS

Leyenda de colores por niveles de piso

COLOR ROJO	COLOR VERDE	COLOR AZUL
Equipo de extracción	Equipo de impulsión	Equipo de inyección

Diseño preliminar

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

*Nivel sonoro medido de acuerdo con las normas AMCA 30005 y 3010

Modelo	Velocidad RPM	Empuje N	Velocidad de impulsión m/s	Potencia HP	Caudal a descarga libre m ³ /hr / CFM	Tensión Volts	Intensidad A	Potencia sonora LwA	Peso aprox. Kg	Potencia absorbida HP @ descarga libre
TCP/6 500	1135	38.0	12.7	3/4	5,393 / 3,173	200-230 / 460	2.8-2.6 / 1.32	72	94	0.59

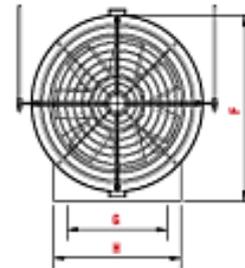
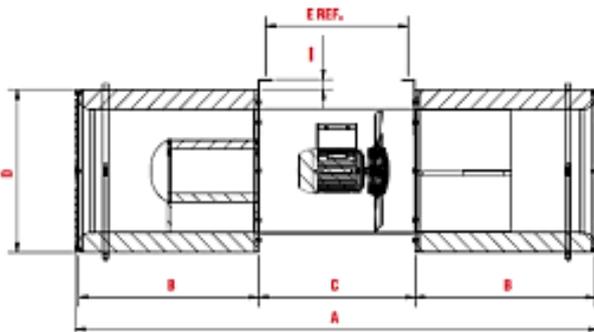
DIMENSIONES

Dimensiones en mm

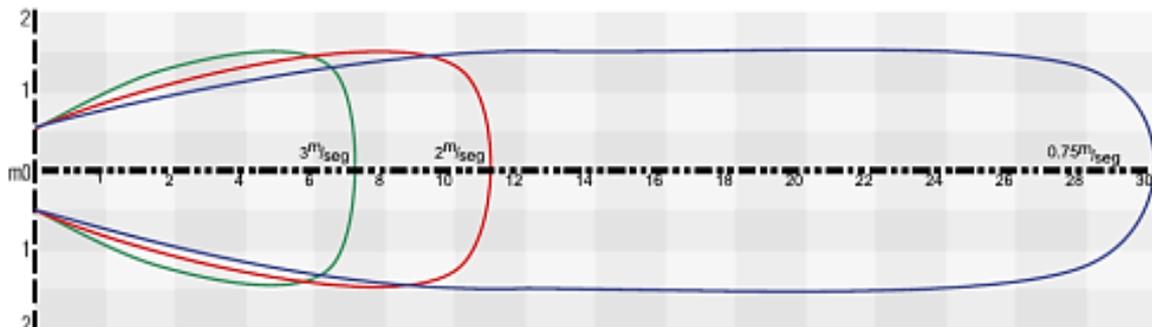
	TCP 400	TCP 450	TCP 500
A	1705	1895	2165
B	600	675	750
C	505	545	655
D	540	610	660
E	443	482	595
F	576	650	700
G	420	447	492
H	347	347	385
I	36	40	40

Dimensiones en in.

	TCP 400	TCP 450	TCP 500
A	67 1/8	74 5/8	85 1/4
B	23 5/8	26 9/16	29 4/8
C	18 7/8	21 7/16	25 13/16
D	21 1/4	24	26
E	17 7/17	19	23 7/16
F	22 11/16	25 9/16	27 9/16
G	16 9/16	17 5/8	19 3/8
H	13 11/16	13 11/16	15 3/16
I	1 7/16	1 9/16	1 9/16



TCP/6 500



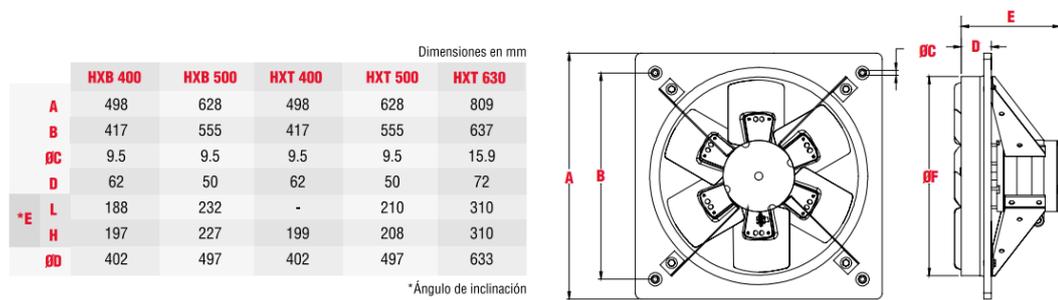
*Impulso máximo calculado de acuerdo ASHRAE Standard 70.

*Datos obtenidos a condiciones estándar a máxima velocidad de operación.
Velocidad: m/seg.
Distancia: m.

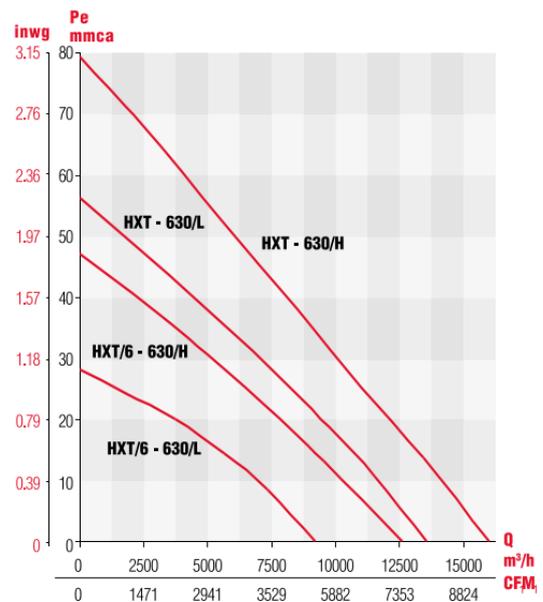
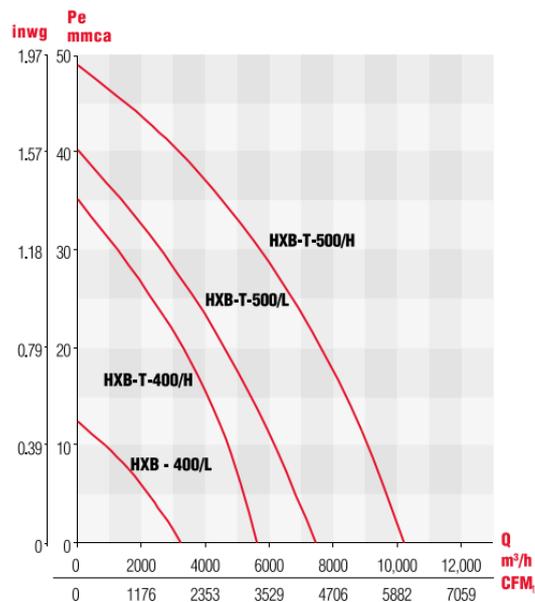
Ventilador de impulsión Jet Fan

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Caudal a descarga libre m ³ /hr / CFM	Presión sonora dB (A)*	Peso aprox. kg
HXB -500 / L	1625	1/2	127	7,630 / 4, 488	68	19

DIMENSIONES



CURVAS



Inyector y extractor axial