UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TESIS
IID20
M43
V.1

DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR, DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA HIGIENE Y LA SEGURIDAD OCUPACIONAL, EN UN EDIFICIO DE UNA ORGANIZACIÓN DE ALIMENTOS Y BEBIDAS DE CONSUMO MASIVO

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: VEINTE PUNTOS (20) Mencion Publicación.

JURADO EXAMINADOR

Firma: Nombre: LUIS GUTIERREZ

Firma: Nombre: Rafael Hernandez

Firma: Nombre: ROBERTO VAINRUB

REALIZADO POR	GUSTAVO MÉNDEZ ECHENAGUCIA RICARDO GARCÍA VIANI
PROFESOR GUIA	ING. LUIS A. GUTIÉRREZ L.
FECHA	OCTUBRE DEL 2.001

8-11-01 = 8:00
Vainrub / Hernández

SINOPSIS

En Empresas Polar existe una gran preocupación por la motivación y bienestar del personal que labora en la misma, como bien lo declara la Misión de la corporación. En este sentido las condiciones del ambiente de trabajo juegan un papel muy importante en el nivel de productividad que exhibe el personal, lo cual se refleja indirectamente en la calidad de los productos y servicios ofrecidos por la empresa.

El edificio Centro Empresarial Polar, ubicado en Los Cortijos de Lourdes, Caracas, Venezuela, posee 6 pisos y alberga a más de 1.000 empleados, incluyendo a personal de las tres Unidades Estratégicas de Negocio (Cerveza y Malta, Alimentos y Refrescos), personal de las Unidades de Apoyo (Finanzas, Informática, Legal), así como a los directores de la corporación.

En el citado edificio se han presentado una serie de quejas, por parte del personal que ahí labora, con etiología vaga, no precisa, que se pueden relacionar con la calidad del aire interior y que han despertado una serie de incógnitas acerca de lo que sucede en el ambiente interior del mismo, desde la perspectiva de la higiene y seguridad ocupacional.

El siguiente estudio tiene como finalidad hacer un diagnóstico del edificio, y para ello hace falta familiarizarse con la construcción, ocupación y uso del edificio Centro Empresarial Polar, evaluar la calidad del aire interior y formular recomendaciones en función de los resultados de la evaluación (Capítulo I).

En este sentido, se procedió a desarrollar un protocolo de investigación basado en un modelo de investigación en edificios creado por la *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos* (EPA), el cual fue adaptado a las necesidades y recursos con que se disponía para la realización de este proyecto. Este protocolo fue dividido en cinco fases, que se describen a continuación: **(1) Familiarización con el Edificio**, de manera de comprender el funcionamiento general del mismo, ubicar todos los elementos que tengan posible influencia sobre la calidad del aire interior y desarrollar así un plan de investigación; **(2) Diseño de Procedimientos**, en donde se planificaron todas las actividades a llevar a cabo para la recolección de la información necesaria para realizar el diagnóstico de la calidad del aire interior; **(3) Preparación Preliminar**, que consiste

en desarrollar una serie de actividades, previas al proceso de recolección de información, destinadas principalmente al entrenamiento en técnicas de muestreo; **(4) Recolección de Información**, mediante la realización de tareas y procedimientos diversos destinados a la obtención de los datos e información necesaria (Capítulo III); **(5) Procesamiento y Análisis de Resultados**, de forma de poder interpretar los diferentes datos obtenidos en el proceso de recolección de información (Capítulo IV y Capítulo V).

De esta forma, se manejaron nueve tipos de variables agrupadas dentro de cuatro dominios diferentes: ventilación, contaminantes químicos, agentes microbiológicos y material particulado (Capítulo II). Así, se realizaron más de **4.000** mediciones a lo largo de 8 semanas de muestreos, llegando a encontrar hallazgos de diferente magnitud y naturaleza. Además, se recolectó información acerca de los incidentes ocurridos en el pasado, que pudieron tener relación con la calidad del aire.

El análisis de los resultados se realizó de acuerdo a los siguientes temas: ventilación, contaminantes e incidentes previos, de manera de poder relacionar los diferentes hallazgos entre sí, en función de los posibles problemas y las fuentes que los estén ocasionando.

La estratificación de la información condujo a que cada piso se convirtiera en una "unidad de análisis", más allá del edificio como conjunto, encontrando que cada uno de los pisos que conforman el Centro Empresarial Polar, exhibe características diferentes, en cuanto al nivel de ocupación, a su utilización, a los materiales y equipos que lo conforman, así como al tipo de problemas de calidad de aire interior que cada uno presenta. Estos problemas van desde flujos de aire fresco insuficiente, mala distribución de la ventilación, contaminación microbiana, hasta problemas con las actividades de mantenimiento y remodelación.

Así, se formularon una serie de recomendaciones relacionadas con estos problemas, como por ejemplo el incremento de la cantidad de aire fresco que entra a algunos de los pisos, reubicación de las tomas de aire fresco en los sistemas de aire acondicionado, así como sugerencias para el momento en que se realicen actividades de mantenimiento o remodelación (Capítulo VI).

ÍNDICE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

I. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 3

1. EL PROBLEMA Y SU DELIMITACIÓN 3
2. OBJETIVOS 4
   - 2.1 Objetivo general 4
   - 2.2 Objetivos específicos 4
3. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN 5
4. VARIABLES 6
5. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN 6

II. MARCO TEÓRICO 7

1. CALIDAD DE AIRE INTERIOR 7
   - 1.1 Síndrome del Edificio Enfermo 8
   - 1.2 Fuentes de Contaminación del Aire Interior 9
2. VENTILACIÓN 12
   - 2.1 Sistemas de Aire y Calidad de Aire Interior 12
   - 2.2 Comodidad Térmica 16
   - 2.3 Psicrometría y Confort 16
3. CONTAMINACIÓN POR AGENTES QUÍMICOS 17
   - 3.1 Bioefluentes 17
   - 3.2 Compuestos Orgánicos Volátiles 18
   - 3.3 Formaldehído 19
4. CONTAMINACIÓN DE ORIGEN MICROBIOLÓGICO 20
   - 4.1 Bacterias 21
   - 4.2 Hongos 21
5. PARTÍCULAS SUSPENDIDAS EN EL AIRE 23

III. MARCO METODOLÓGICO **25**

1. FAMILIARIZACIÓN CON EL EDIFICIO 26
2. DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO 27
   - 2.1 Determinación de los parámetros a estudiar 27
   - 2.2 Reuniones con personal de Departamento Químico y Microbiológico 29
   - 2.3 Elaboración de planes de muestreo para los diferentes parámetros 30
   - 2.4 Diseño de formatos de entrevistas y quejas 30
3. PREPARACIÓN PRELIMINAR 31
   - 3.1 Desarrollo y validación de la técnica de rastreo de agentes químicos 32
   - 3.2 Selección y compra de equipos de medición 33
   - 3.3 Adiestramiento en técnicas para el muestreo microbiológico 33
4. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 34
   - 4.1 Recolección de información por muestreo 34
   - 4.2 Cálculo de variables de ventilación 35

IV. RESULTADOS **36**

1. CONCENTRACIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO 37
2. TEMPERATURA ABSOLUTA 40
3. HUMEDAD RELATIVA 42
4. PARTÍCULAS TOTALES SUSPENDIDAS 44
5. AGENTES QUÍMICOS 46
6. MUESTREO MICROBIOLÓGICO 48
7. AIRE FRESCO POR OCUPANTE 49
8. REGISTRO DE INCIDENTES PREVIOS 49

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS **50**

1. VENTILACIÓN 50
   - 1.1 Renovación del aire interior 50
   - 1.2 Eficiencia de la distribución del aire interior 52

2. CONTAMINANTES 53
2.1 Contaminación por agentes químicos 53
2.2 Contaminación por agentes microbiológicos 54
2.3 Material particulado 57
3. ANÁLISIS DE INCIDENTES PREVIOS 59

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 60

BIBIOGRAFÍA

GLOSARIO

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1 – Variables de estudio en la investigación 6

Figura N° 2.1 – Causas más frecuentes del Síndrome del Edificio Enfermo 9

Figura N° 2.2 – Fuentes externas de contaminación del aire interior 10

Figura N° 2.3 – Componentes del edifico como contaminantes del aire interior 10

Figura N° 2.4 – Actividades humanas como contaminantes el aire interior 11

Figura N° 2.5 – Equipos como fuentes de contaminación del aire interior.....11

Figura N° 2.6 – Otras fuentes de contaminación del aire interior 11

Figura N° 2.7 – Componentes de los sistemas HVAC.....13

Figura N° 2.8 – Esquema de un sistema HVAC típico 15

Figura N° 2.9 – Rangos de temperatura y humedad recomendados para personas desarrollando actividades sedentarias 16

Figura N° 2.10 – Concentraciones de CO_2 18

Figura N° 2.11 – Tipos de bacterias.....21

Figura N° 2.12 – Fotomicrografía y esquema de un moho típico.....22

Figura N° 2.13 – Fotomicrografía electrónica de la levadura común *Saccharomyces Cerevisiae* 23

Figura N° 2.14 – Depósito del aerosol en función del tamaño de partícula.....24

Figura N° 2.15 – Standard ISO 14644-1: *Airborne Particulate Cleanliness Classes* ...24

Figura N° 3.1 – Modelo de secuencia de investigación de problemas de calidad de aire en edificios según la EPA 25

Figura N° 3.2 – Esquema metodológico del Trabajo Especial de Grado.....26

Figura N° 3.3 – Fragmento de tablas descriptivas de los pisos 27

Figura N° 3.4 – Contaminantes a muestrear.....28

Figura N° 3.5 – Fragmento de ficha que describen los diferentes métodos de medición 29

Figura N° 3.6 – Plan de muestreo de los parámetros a estudiar 30

Figura N° 3.7 – Actividades para validación de técnicas de muestreo de VOC's.....32

Figura N° 3.8 – Matriz de decisión para la compra de equipos.....33
Figura N° 3.9 – Actividades de adiestramiento en muestreo microbiológico 34
Figura N° 3.10 – Cronograma de actividades de muestreo 34
Figura N° 3.11- Secuencia para el método de cálculo del aire fresco por persona.....35
Figura N° 4.1 – Estructura del capítulo de resultados.....36
Figura N° 4.2 – Gráficos de concentraciones de dióxido de carbono vs. lugares de medición 37
Figura N° 4.3 – Gráficos de concentraciones de dióxido de carbono vs. días de medición 38
Figura N° 4.4 – Tabla de verificación de la calidad de la ventilación 39
Figura N° 4.5 – Gráficos de temperaturas absolutas vs. lugares de medición 40
Figura N° 4.6 – Gráficos de temperaturas absolutas vs. días de medición 41
Figura N° 4.7 – Gráficos de humedad relativa vs. lugares de medición.....42
Figura N° 4.8 – Gráficos de humedad relativa vs. días de medición.....43
Figura N° 4.9 – Gráficos de concentraciones de partículas suspendidas en el aire vs. lugares de medición.....44
Figura N° 4.10 – Gráficos de concentraciones de partículas suspendidas en el aire vs. días de medición.....45
Figura N° 4.11 – Tabla de compuestos orgánicos volátiles detectados en el aire 46
Figura N° 4.12 – Cromatograma de una muestra de carbón activado 47
Figura N° 4.13 – Tabla de concentraciones de formaldehído y monóxido de carbono .47
Figura N° 4.14 – Tablas de resultados de muestreo de agentes microbiológicos.....48
Figura N° 4.15 – Tabla de calculo de renovación de aire fresco por persona 49
Figura N° 5.1 – Promedio de concentraciones de CO_2 por piso.....50
Figura N° 5.2 – Puntos de muestreo con mala ventilación.....51
Figura N° 5.3 – Renovación de aire fresco por persona en cada piso.....52
Figura N° 5.4 – Fuentes de emisión de los VOC´s mas comunes en el CEP 53
Figura N° 5.5 – Tabla de concentraciones de formaldehído y monóxido de carbono...54
Figura N° 5.6 – Análisis estadístico de datos microbiológicos: organismos mesófilos.55

Figura N° 5.7 – Análisis estadístico de datos microbiológicos: mohos y levaduras 56

Figura 5.8 – Muestras del grupo del piso PB, 1 y 2 57

Figura 5.9 – Muestras del grupo del piso 3, 4 y PH 57

Figura N° 5.10 – Gráficos de concentraciones de partículas suspendidas en el aire: CEP y aire exterior 57

Figura N° 5.11 – Distribución de partículas por tamaños en el aire interior del CEP ...58

Figura N° 5.12 – Gráficos de PTS: CEP y PB 59

Figura N° 5.13 – Tabla de síntomas vs. fuentes de contaminación 59

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La higiene y seguridad ocupacional es un área de la ingeniería que se encarga de reducir al máximo los riesgos asociados a las actividades laborales. Riesgos que pueden ser mayores o menores dependiendo del tipo de trabajo que se esté realizando. Hay riesgos que son **(1) físicamente imposibles de corregir**, también hay riesgos que son **(2) físicamente posibles de corregir pero económicamente imposibles** y por último están los riesgos que son **(3) económica y físicamente corregibles**, en los cuales hay que tratar de concentrar las acciones y en los anteriores tratar de reducirlos o mitigarlos.

Higiene y seguridad son dos aspectos que son muy familiares para la generalidad de las personas, pero es importante conocer bien la diferencia entre estos dos términos.

"La seguridad se ocupa de los efectos agudos de los riesgos, en tanto que la higiene trata sus efectos crónicos" (ASFAHL, 2000).

Un efecto agudo es una acción repentina a un estado grave; un efecto crónico es un deterioro a largo plazo, debido a una prolongada exposición a una situación adversa más benigna.

En el área de la calidad del aire interior caben perfectamente los dos conceptos, el de seguridad y el de higiene. El hecho de no existir una buena calidad del aire, puede aumentar enormemente los riesgos de producir efectos agudos y crónicos sobre la salud de las personas. Los efectos agudos pueden ocurrir y son fáciles de reconocer ya que afectan en corto plazo y severamente a las personas, en cambio que los efectos crónicos son más complicados de detectar en el aire, ya que son situaciones que por sí solas, a corto plazo no tienen un efecto grave en la salud; pero, la situación puede tornarse grave a largo plazo, cuando se tiene una serie de pequeñas irregularidades en el aire, sumado a que la mayoría de las personas pasamos el 90% del tiempo en ambientes cerrados y más de la mitad de ese porcentaje en el trabajo.

Es por ello que se debe tener una gran precaución por la calidad del aire interior en los ambientes de trabajo, ya que en ese tipo de entornos, por lo general, hay un gran nivel de ocupación, y por lo tanto una gran cantidad de materiales y equipos como: computadoras, fotocopiadoras, impresoras, faxes, material de papelería, muebles,

alfombras, etc., cuya instalación, utilización y mantenimiento contribuye a la emisión de otros materiales y subproductos.

La gran cantidad de personas es también una fuente generadora de contaminantes, como son los bioefluentes o los organismos microbiológicos; además, se necesita de unos requerimientos de ventilación especiales por encontrarse en espacios cerrados, unido a los contaminantes químicos que son desprendidos de los materiales y equipos que se encuentran en el interior de la edificación o que provienen de los productos de limpieza.

Por todas estas razones el aire interior es una mezcla compleja de la cual no se sabe mucho, y se desconocen en muchos casos los efectos adversos que puedan traer a la salud. La investigación en esta área del conocimiento sólo ha venido a acelerarse en los últimos años.

Este Trabajo Especial de Grado tiene como misión conocer en profundidad los elementos presentes que generen efectos tanto agudos como crónicos en la salud de los ocupantes del edificio Centro Empresarial Polar, y a partir de esto formular recomendaciones acerca de las precauciones y correcciones que se deben poner en práctica para reducir estos riesgos al máximo, y de esta forma asegurar la salud y bienestar de los ocupantes, en cuanto al aire que respiran.

Cabe mencionar que la preocupación e iniciativa para la realización del estudio provienen de un equipo de personas pertenecientes a diferentes departamentos dentro de Empresas Polar, cuya valoración de la importancia de los análisis, condujo a la realización de este proyecto transfuncional, lo cual es digno de reconocimiento.

CAPÍTULO I

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

I

1. EL PROBLEMA Y SU DELIMITACIÓN

> "Los edificios no nacen enfermos. Ellos se enferman, y la gran mayoría de ellos son propicios a enfermarse desde su diseño. Y si no se cuidan se enferman, y enferman a todos los que están dentro." (Dagnino, 2000)

Los edificios herméticos, los materiales de construcción, la calidad del aire de la ciudad, las condiciones de diseño de los sistemas electromecánicos y en especial del sistema de ventilación (que muchas veces no existe), la calidad de la construcción, la ubicación y tratamiento de los estacionamientos y muchos otros factores, participan en el cuadro general de los problemas de calidad de aire interior.

La Organización Mundial de la Salud estima que uno de cada tres trabajadores pudiera estar laborando en un ambiente que le está causando enfermedades. Los responsables: una mezcla de peligros en su mayoría desconocidos, desde el monóxido de carbono y otros contaminantes que se introducen en los edificios cuando las ventanillas de las tomas de aire dan hacia lugares repletos de gases de escape y estacionamientos, hasta los químicos orgánicos volátiles que emanan de materiales de construcción, mobiliarios, equipos de oficina, alfombras, pinturas y plaguicidas, pasando por los polvillos vegetales y las bacterias presentes en los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado llenos de inmundicias.

Para quienes tienen buenos sistemas inmunológicos, esto quizás pueda no importar mucho. Pero para 20 ó 30% de los empleados de oficina, los problemas pueden ir desde dolores de cabeza suaves, náuseas, mareos, irritabilidad de ojos y garganta, hasta posibles daños en los sistemas nervioso y respiratorio.

En el Centro Empresarial Polar se han presentado quejas, por parte del personal que ahí labora, con etiología vaga, no precisa, que han despertado una serie de interrogantes acerca de que lo que sucede en el ambiente interior del mismo.

La siguiente investigación tendrá como finalidad familiarizarse con la construcción, ocupación y uso del edificio Centro Empresarial Polar, evaluar la calidad del aire interior y formular recomendaciones en función de los resultados del estudio.

2. OBJETIVOS

Los objetivos que se buscan completar con el siguiente trabajo son los siguientes:

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar la calidad del aire interior, desde el punto de vista de la higiene y la seguridad ocupacional, en un edificio de una organización de alimentos y bebidas de consumo masivo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En el ámbito de la Higiene Ocupacional

- ✓ Examinar el sistema de ventilación existente, en cuanto a la renovación del aire interior (Aire fresco por ocupante).
- ✓ Evaluar el sistema de ventilación existente, en cuanto a la eficiencia de la distribución del aire interior.

En el ámbito de la Seguridad Ocupacional

- ✓ Determinar si existe presencia de ciertas sustancias químicas, con potencial de causar problemas de aire interior, según los estándares de la seguridad ocupacional.
- ✓ Analizar la calidad del aire en cuanto a factores microbiológicos.
- ✓ Caracterizar el material particulado suspendido en el aire.

En el ámbito del Seguimiento y Control de Incidentes

- ✓ Registrar y analizar información acerca de incidentes previos.
- ✓ Diseñar un sistema de investigación y reporte de incidentes.

En el ámbito Académico

- ✓ Desarrollar una metodología para el diseño de protocolos de diagnóstico de calidad de aire interior en edificios.

3. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN

"El Profesor e investigador Felipe Odehnal asegura que toda edificación debería ser diagnosticada" (Dagnino, 2000).

Dado el gran crecimiento que ha experimentado esta empresa, el total de personas que laboran en el Centro Empresarial Polar se ha duplicado en aproximadamente 5 años, llegando a ser hoy en día alrededor de 1.000 personas, incluyendo el nuevo personal de Mavesa. Además, tomando en cuenta que el edificio fue diseñado arquitectónicamente para que operara una industria ligera con ventilación natural, resulta evidente que el mismo ha sufrido numerosas remodelaciones de infraestructura, mobiliario y ventilación desde su construcción hace 25 años.

Asimismo, en los últimos meses se han experimentado una serie de quejas e incidentes asociados con el edificio, de naturaleza poco específica, tales como dolores de cabeza, náuseas, fatiga, ansiedad respiratoria ("falta de aliento"), decaimiento, entre otros. Estos incidentes se han presentado de manera esporádica pero recurrente y hasta ahora su etiología es desconocida; es por esto que la empresa decidió conducir una evaluación formal del problema.

Además, para el momento de la construcción del C.E.P. no se tomó en cuenta en su diseño y con él, el de los sistemas de ventilación y aire acondicionado, la existencia de PC's, fotocopiadoras, faxes, máquinas dispensadoras de refrescos, etc. en los sitios de trabajo, así como el nivel de ocupación que presenta actualmente.

Por otra parte, preocuparse de la calidad del aire interior, que es uno de los factores más influyentes en el problema del "Edificio Enfermo", es un buen negocio porque cualquier aumento de productividad de la fuerza de trabajo, paga con creces la inversión. Estadísticas americanas muestran valores de aproximadamente \$22 por m^2 para acondicionar el aire de un edificio y el valor del personal que hace uso del edificio llega a \$1.600 por m^2; un 1% de aumento de productividad equivale al 70% del costo de operación del aire acondicionado. (Fuente: Revista Gerente; 2000).

4. VARIABLES

En la siguiente tabla se resumen las variables a ser estudiadas en el desarrollo de la investigación.

DOMINIO	VARIABLE	MEDICIÓN	OPERACIONALIZACIÓN
VENTILACIÓN	Temperatura	Temperatura Absoluta	Grados centígrados (°C)
	Humedad	Humedad Relativa	Porcentaje (%)
	Dióxido de Carbono	Concentración	Partes por millón (ppm)
AGENTES QUÍMICOS	Compuestos Orgánicos Volátiles	Medición cualitativa	Presencia en carbón activado
	Formaldehído	Concentración	Partes por millón (ppm)
	Monóxido de Carbono	Concentración	Partes por millón (ppm)
CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA	Organismos Mesófilos	Concentración	Unidades formadoras de colonia sobre metro cúbico (UFC/m^3)
	Mohos y Levaduras	Concentración	Unidades formadoras de colonia sobre metro cúbico (UFC/m^3)
MATERIAL PARTICULADO	Partículas Totales Suspendidas	Concentración	Número de partículas sobre litro de aire (#part/L)

Figura N° 1.1 – Variables de estudio en la investigación

5. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación pretende responder a cada una de las siguientes interrogantes:

- ¿Existen problemas de calidad de aire interior?, ¿está el edificio enfermo?
- ¿Existen problemas de ventilación en el edificio?
- ¿Hay algún tipo de contaminación química que pueda afectar la salud de los ocupantes del edificio?
- ¿Los niveles de los agentes microbiológicos pueden causar efectos adversos sobre la salud de los ocupantes del edificio?
- ¿La concentración de partículas totales suspendidas alcanzan o están cerca de los niveles recomendados?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II

1. CALIDAD DE AIRE INTERIOR

El ambiente interior en cualquier edificio, es un resultado de la interacción de una serie de factores como la localización, el clima, el diseño del edificio (original y modificaciones posteriores en su estructura y sistemas electromecánicos), las técnicas y materiales de construcción, las fuentes de contaminación (mobiliario, procesos y actividades que se llevan a cabo adentro, humedad y fuentes externas), y los ocupantes del mismo.

Así, en la edificación moderna, de alta hermeticidad y que incorpora nuevos materiales, pueden derivarse efectos adversos para la salud y para el rendimiento, a causa de las deficiencias en la calidad del aire que se respira y en las condiciones de confortabilidad de los locales de ocupación, tanto residenciales como de trabajo.

Un problema de Calidad de Aire Interior (CAI) consiste en quejas, síntomas y enfermedades que se creen están relacionados a contaminantes concentrados en los edificios. En este sentido, se dice que no hay una tendencia rápida y aguda a contraer síntomas; más bien, hay efectos imperceptibles y lentos. Los síntomas son a menudo subjetivos, y otros problemas o "estreses" (incluyendo estrés del calor) pueden agravar el problema.

La mayoría de los problemas de calidad de aire causan incomodidad, pero no ocasionan problemas de salud. No todas las personas tienen una reacción igual ante los problemas de CAI; algunas de las que experimentan síntomas, encuentran que se sienten mucho mejor después de salir del lugar.

Ya que las personas expuestas a una baja calidad de aire interior frecuentemente experimentan síntomas subjetivos, a menudo se considera a estas personas muy emocionales o simplemente quejosas, entonces es importante considerar este problema en una forma científica para poder tomar un enfoque constructivo y con miras a resoluciones.

1.1 SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO

El "Síndrome del edificio enfermo" (SEE) es usado para describir un difuso espectro de síntomas cuyos factores etiológicos no han sido especificados. Un grupo de personas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) inicialmente trató de definir este fenómeno a comienzos de los años 80.

El síndrome del edificio enfermo fue definido entonces, como un grupo de síntomas causados por agentes químicos, físicos, biológicos y/o factores ergonómicos, relacionados frecuentemente con la estructura, distribución, instalaciones y/o equipamientos del edificio, con relación temporal con el mismo y causa no siempre evidente, que se diagnostica a menudo por exclusión y no afecta a la totalidad de sus ocupantes.

> "El síndrome del edificio enfermo comienza cuando empezamos a cerrar los espacios con vidrio, a ventilarlos artificialmente, a controlar la temperatura de forma artificial, y a utilizar tantos productos y materiales nuevos que no se conocen y que comienzan a generar problemas". (Dagnino, 2000). Ver Anexo N° 1 para observar artículo completo.

Entre los síntomas del síndrome del edificio enfermo reportados frecuentemente se incluyen: **(1) irritación sensorial de los ojos, nariz y garganta,** los cuáles se describen como dolor, sensaciones de sequedad, picazón, ronquera y problemas con la voz; **(2) problemas generales de salud** tales como dolor de cabeza, fatiga mental, pesadez, insomnio, reducción de la memoria y concentración, mareo, intoxicación, náuseas, vómito y cansancio; **(3) irritación de la piel** la cual se manifiesta como enrojecimiento, erupciones, picazón y sequedad; **(4) reacciones hipersensitivas** no específicas tales como nariz y ojos aguados, síntomas de asmáticos entre personas no asmáticas y sonidos del sistema respiratorio; **(5) sensaciones de olor y sabor** como cambios en el sentido olfativo y gustativo y percepciones desagradables de olor y sabor.

Dado los conocimientos actuales que se tienen acerca del tema, resulta difícil relacionar las quejas sobre problemas específicos de salud, con exposiciones a concentraciones específicas de contaminantes, especialmente porque la mayoría de las exposiciones son a mezclas de contaminantes a muy bajos niveles o concentraciones.

FUENTES	%
Ventilación inadecuada	48,3
Limpiadores industriales y fotocopiadoras	17,7
Contaminación por aire externo (tomas inapropiadas)	10,3
Humedad	4,4
Emanaciones del edificio, cables recargados, tabiques, alfombras	3,4
Hipersensibilidad, bajo porcentaje de humedad relativa	3,0
Humo de cigarrillo	2,0
Ruidos e iluminación inapropiada	1,0
Sin causa comprobada	10,0

De una serie de investigaciones sobre calidad de aire interior en edificaciones conducidas por la *National Institute for Occupational Safety and Health,* NIOSH (más de 800 estudios desde 1.971), se pueden conocer las causas más frecuentes de problemas relacionados con el Síndrome del Edificio Enfermo. (Fuente: Dagnino; 2000)

Figura N° 2.1 – Causas más frecuentes del Síndrome del Edificio Enfermo

1.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE INTERIOR

Los contaminantes del aire interior son originados principalmente dentro del edificio, aunque también pueden ser traídos desde afuera. Si las fuentes de contaminación no son controladas, pueden surgir problemas de CAI, aun cuando el sistema de aire se encuentre correctamente diseñado y bien mantenido. Por otro lado, se dice que "las oficinas modernas pueden contener hasta 350 sustancias químicas altamente tóxicas" (Revista Gerente; 2000), que pueden provenir desde materiales de construcción hasta equipos de oficina; todo ello sin contar los frecuentes problemas para la circulación del aire.

A continuación se presenta una lista de las fuentes más comunes de contaminación del aire interior, separados de acuerdo a las siguientes categorías: fuentes externas, equipos, actividades humanas, mobiliario y componentes del edificio, y otras fuentes.

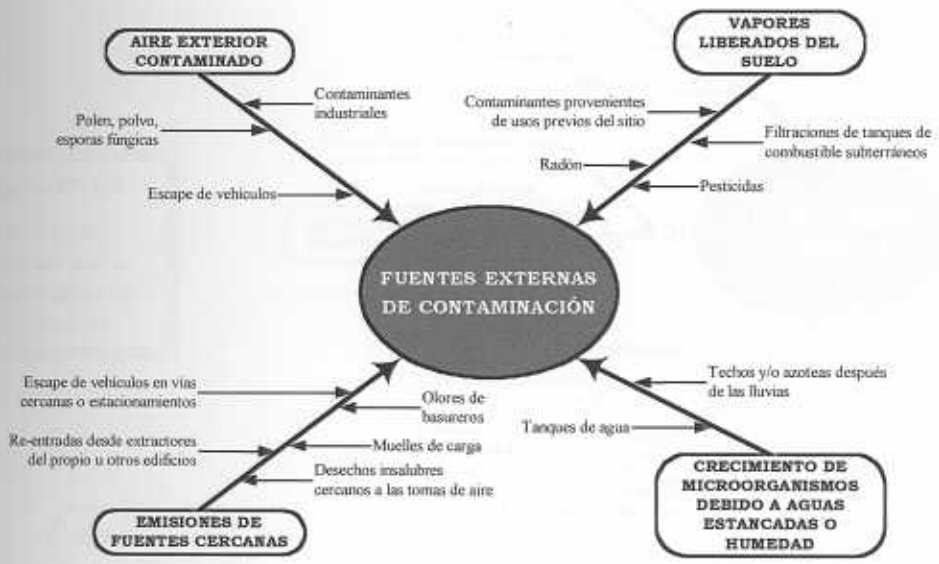


Figura N° 2.2 – Fuentes externas de contaminación del Aire Interior

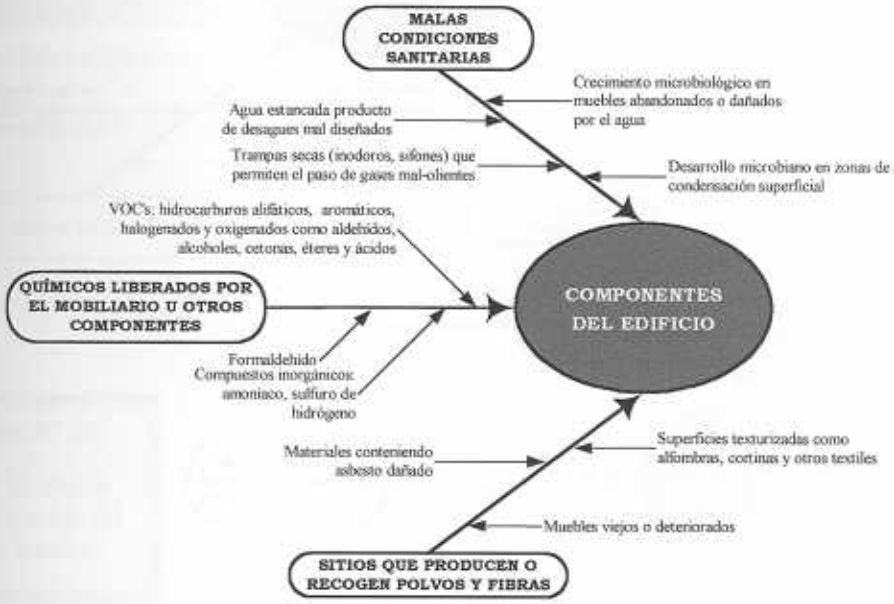


Figura N° 2.3 – Componentes del edificio como contaminantes del Aire Interior

Figura N° 2.4

Actividades humanas como contaminantes del Aire Interior

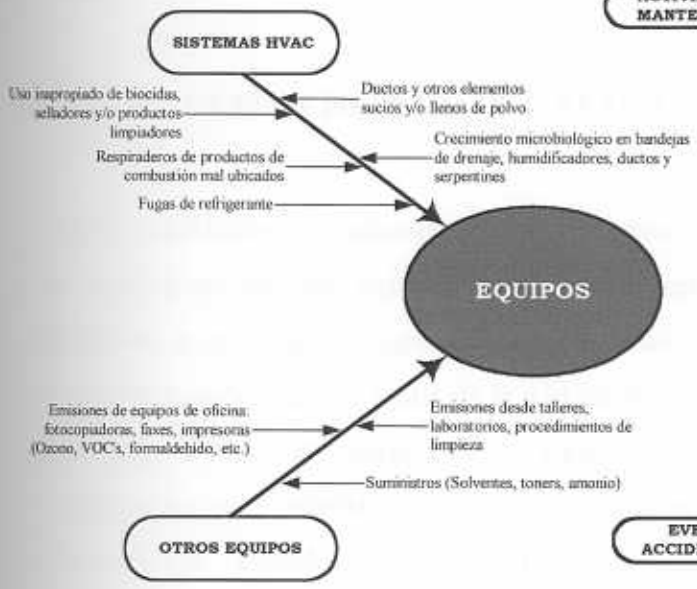


Figura N° 2.5

Equipos como fuente de contaminación del Aire Interior

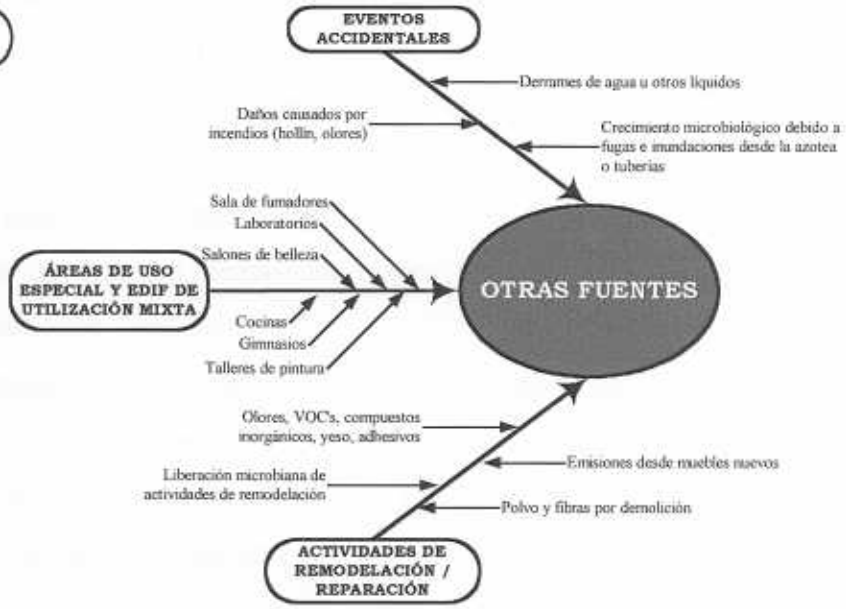


Figura N° 2.6

Otras fuentes de contaminación del Aire Interior

2. VENTILACIÓN

La ventilación es un proceso de aporte o extracción de aire fresco de cualquier espacio mediante medios naturales o mecánicos. Este aire puede estar acondicionado o no, y se utiliza para el control de la temperatura del medio o para mantener la concentración de un contaminante por debajo de un determinado valor o nivel.

Por otra parte, el proceso de tratamiento del aire para controlar todos los factores que afectan las condiciones físicas y químicas de la atmósfera, suplirlo y extraerlo de un recinto en forma adecuada para alcanzar ciertos requerimientos, se conoce como aire acondicionado. El aire acondicionado incluye a la ventilación.

2.1 SISTEMAS DE AIRE Y CALIDAD DE AIRE INTERIOR

Todos los edificios ocupados requieren de suministro de aire exterior. Dependiendo de las condiciones del aire exterior, éste necesita ser calentado o enfriado antes de ser distribuido a un espacio ocupado. Mientras el aire exterior es inyectado al edificio, el aire interior es desplazado y sale de la edificación, removiendo así los contaminantes.

El término HVAC es usado por las siglas en inglés, *Heating Ventilation and Air Conditioning*, para referirse a los sistemas y equipos que pueden proveer enfriamiento, calentamiento, filtrado del aire exterior y control de humedad para mantener condiciones de confort. No todos los sistemas HVAC están diseñados para cumplir todas esas funciones.

Un sistema HVAC correctamente diseñado debería:

- Proveer confort térmico (ni demasiado quieto ni con corrientes, y a una temperatura y humedad cómodas).
- Distribuir adecuadas cantidades de aire fresco para cumplir las necesidades de todos los ocupantes del edificio.
- Aislar y remover olores y contaminantes a través de un control de presión, filtración y ventiladores de extracción.

TIPOS DE SISTEMAS HVAC

Una Zona

Es una unidad de manejo de aire que puede surtir aire a una zona con más de un área, solamente si las áreas a las que se le suministra el aire, tienen requerimientos de calentamiento, enfriamiento y ventilación similares.

Problemas de confort térmico pueden surgir, si el diseño del sistema no toma en cuenta las diferencias de carga térmica entre los espacios que se encuentran en la misma zona.

La carga térmica en algunas áreas cambia con la cantidad de personas que ocupan los diferentes espacios, ya que en donde hay más personas aumenta la cantidad de equipos requeridos, tales como computadoras, lámparas para iluminación, copiadoras, etc. Otro factor influyente, es que áreas dentro de una misma zona tienen diferente exposición solar. Esto puede producir que el calor radiante añada diferencias en los requerimientos de enfriamiento o calentamiento dentro de una misma zona, ya que el ángulo del sol varía diariamente y estacionalmente.

Múltiple Zona

Los sistemas de aire de múltiple zona pueden proveer cada zona con aire a diferente temperatura, ya que enfría o calienta la corriente de aire en cada zona. Hay diseños alternativos que distribuyen el aire a temperatura constante, los cuales pueden ser sistemas de volumen variable o de volumen constante.

COMPONENTES DE UN SISTEMA HVAC

CUADRO RESUMEN DE LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA HVAC	
Componentes	**Explicación**
Toma de Aire Fresco	El aire exterior introducido al edificio a través del sistema de aire, tiene que ser filtrado y acondicionado, (enfriado o calentado), antes de su distribución. La mayoría de las unidades de manejo de aire están diseñadas con una toma de aire fresco en el lado de retorno de la ductería. Problemas de aire interior pueden ser producidos cuando los contaminantes entran al edificio con el aire exterior. Tomas de aire instaladas en el techo o paredes pueden estar ubicadas en zonas adyacentes o viento abajo de salidas de aire del edificio o fuentes de contaminación.

Componentes	Explicación
Filtros de aire	Los filtros de aire son utilizados principalmente para retener las partículas del aire. El tipo y el diseño de un filtro determinan, la eficiencia con la que retiene las partículas del aire de un determinado tamaño y la cantidad de energía necesaria para hacer pasar el aire a través del filtro. Los filtros de aire cualquiera que sea su diseño o eficiencia, necesitan de un regular mantenimiento, limpieza para algunos y reemplazo para la mayoría. Un adecuado mantenimiento para los filtros es importante para mantener la ductería limpia. Si el sucio se acumula en la ductería y la humedad relativa llega hasta el punto de rocío, para que ocurra la condensación, los nutrientes y la humedad pueden dar paso a la proliferación y crecimiento de contaminantes microbiológicos.
Serpentines de enfriamiento y calentamiento	Los serpentines de calentamiento y enfriamiento son colocados para regular la temperatura del aire distribuido. Cuando el aire es enfriado, el serpentín de enfriamiento deshumidifica la corriente de aire que pasa a través de él, condensando una parte del agua contenida en el mismo. El agua condensada debe ser debidamente extraída del sistema, ya que si no este condensado se acumula dentro del sistema, y crea condiciones de humedad que favorecen el crecimiento de mohos, hongos y bacterias.
Equipo de humidificación o deshumidificación	En algunos edificios o en zonas internas, hay requerimientos especiales de control estricto de humedad, como en quirófanos o cuartos de computación. Este control de humedad se lleva a cabo añadiendo al sistema equipos y controles de humidificación o deshumidificación.
Ventilador de suministro	Este elemento es el encargado de darle movimiento al sistema de aire, los hay de múltiples tipos y deben estar diseñados para proveer a todas las zonas de suficiente movimiento de flujo de aire para que el sistema funcione adecuadamente.
Ductos	La función de un sistema de ductería es la de transportar y distribuir el aire desde la unidad de manejo hasta el espacio a ser acondicionado. El mismo sistema que distribuye aire acondicionado a través del edificio, puede distribuir polvo y otros tipos de contaminantes. La acumulación de sucio y polvo en cualquiera de los componentes del sistema de aire, como los serpentines, plenums y ductos, pueden conducir a una contaminación del aire suministrado. La presencia de sucio en la ductería no necesariamente indica un problema de contaminación. Una pequeña cantidad de sucio en las superficies del ducto es normal de esperarse.
Accesorios	Los accesorios son las rejillas difusoras de suministro, las rejillas de alivio y retorno, dampers y controles asociados, los cuales están diseñados para extraer aire de un lugar y volver a suministrarlo. El número, tipo y ubicación de los accesorios, es importante para el buen funcionamiento del sistema. Estos pueden causar que un sistema de aire con suficiente capacidad, produzca resultados insatisfactorios, tales como transporte de olores, áreas de estancamiento o corto circuito.
Sistema de aire de retorno	En muchos edificios modernos el espacio del cielo raso es utilizado como medio de retorno del aire sin requerimientos de ductería. Este tipo de sistema reduce frecuentemente el costo inicial del sistema HVAC, sin embargo, es vulnerable a la acumulación de polvo. En otros edificios el sistema de retorno es por medio de ductos, igualmente que el suministro.

Componentes	Explicación
Salida y alivio de aire viciado	La mayoría de los edificios requieren por ley que se les provea de salidas y aliviaderos de aire donde las fuentes de contaminantes son elevadas, como instalaciones sanitarias, cocinas y estacionamientos. Para un confinamiento y escape satisfactorio de fuentes identificables, el área debe mantenerse a una presión menor que la presión de los alrededores (presión negativa) para que de esta forma el aire contaminado no salga del área confinada. Cualquiera de éstas áreas debe estar aislada del retorno del sistema de aire, para que de esta forma los contaminantes no sean transportados a otras áreas del edificio.
Controladores	Los sistemas HVAC pueden ser controlados manualmente o automáticamente. La mayoría de los sistemas son controlados por una combinación de manuales y automáticos. El sistema de control puede ser utilizado para encender y apagar los ventiladores, regular la temperatura de una zona en particular o moderar el flujo de aire y presiones controlando las velocidades de los ventiladores y posiciones de los dampers. La mayoría de los grandes edificios usan controles automáticos, y varios de ellos tienen sistemas complejos y bien sofisticados. Mantenimiento y calibración regular son requeridos para mantener los controles en correcto funcionamiento.
Calderas	Las calderas son máquinas cuya función es la de calentar el agua que entra en el sistema HVAC. Como cualquier otra parte del sistema HVAC, una caldera debe ser mantenida adecuadamente para que funcione correctamente. Es particularmente importante que cualquier equipo de combustión opere debidamente para prevenir condiciones peligrosas como explosiones o fugas de monóxido de carbono.
Torre de enfriamiento	Las torres de enfriamiento son máquinas cuya función es la de enfriar el agua que entra en el ciclo de refrigeración del sistema HVAC. El mantenimiento de una torre de enfriamiento asegura el adecuado funcionamiento y mantiene la torre libre de ser un nicho de bacterias patógenas como la *Legionella*. La calidad del agua de las torres de enfriamiento debe ser monitoreada y químicamente tratada, para minimizar las condiciones que favorecen el crecimiento de agentes patógenos.
Chillers	Los chillers de agua son frecuentemente encontrados en grandes edificios dado a que ellos ofrecen un rendimiento superior. Estos deben ser mantenidos correctamente para que cumplan su función de remover el calor del interior del edificio.

Figura N° 2.7 - Componentes de los sistemas HVAC

Adaptado de: EPA, NIOSH; 1991.

A continuación se puede apreciar un esquema con los componentes de un sistema HVAC típico.

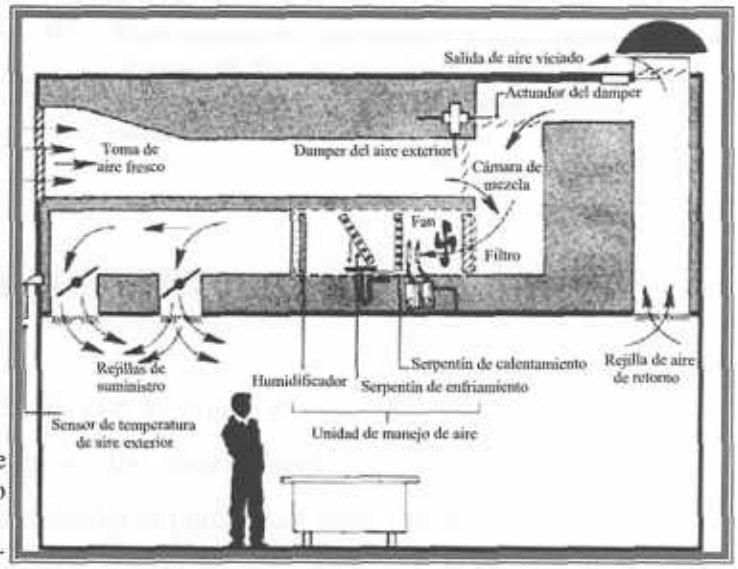


Figura N° 2.8 - Esquema de un sistema HVAC típico

Fuente: EPA, NIOSH; 1991.

2.2 COMODIDAD TÉRMICA

Algunos autores definen al confort térmico como una condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico. Una gran cantidad de variables interactúan para determinar si las personas se sienten o no confortables con la temperatura del aire interior. Así, el nivel de actividad personal, la temperatura y su uniformidad, la humedad relativa, la velocidad del aire, la pérdida o ganancia de calor radiante, la edad, el sexo, la fisiología de cada persona, la cantidad y el tipo de ropa, son algunos de los factores que afectan la comodidad térmica de cada individuo.

Es por esto, que esta variable resulta relativamente compleja de estudiar. Sin embargo, muchos organismos han establecido rangos de temperaturas para los cuales la mayoría de las personas se sienten satisfechas. La ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) en su Standard 55 describe estos rangos de temperatura en función de la humedad del sitio, para personas realizando actividades sedentarias.

De esta manera, de acuerdo a la temperatura, el cuerpo humano establece un equilibrio de la cantidad de calor producido para absorber los cambios en las condiciones circundantes, mediante básicamente dos sistemas: variaciones de irrigación sanguínea en las diferentes partes del cuerpo y la transpiración.

Humedad Relativa	Temperaturas en invierno	Temperaturas en verano
30 %	20,5 °C – 24,5 °C	23,0 °C – 26,5 °C
40 %	20,5 °C – 24,0 °C	23,0 °C – 26,0°C
50%	20,0 °C – 23,5 °C	22,5 °C – 26,0 °C
60 %	20,0 °C – 23,0 °C	22,0 °C – 25,5 °C

Figura N° 2.9 - Rangos de temperatura y humedad aceptados. Aplica para personas desarrollando actividades sedentarias

Fuente: EPA, NIOSH; 1991.

2.3 PSICROMETRÍA Y CONFORT

La humedad tiene una gran relación con la salud, el confort y la satisfacción que se percibe de la calidad del aire. Como se dijo anteriormente, la humedad afecta al confort térmico; si la humedad es alta se dificulta la pérdida de calor mediante la transpiración.

Además, una baja humedad ha sido relacionada con efectos directos sobre las membranas mucosas y la piel.

El vapor de agua se encuentra siempre presente en la atmósfera y varía según las condiciones del tiempo y el ambiente local. Así, la cantidad de vapor de agua que el aire puede contener depende directamente de la temperatura. Es de esta forma, que se define el término de humedad relativa, como el porcentaje que se obtiene de la relación entre la cantidad de vapor que contiene el aire en un momento dado, con la que contendría a esa temperatura si estuviese saturado.

De esta manera, el rango óptimo de la humedad relativa se encuentra entre 30% y 70%, de acuerdo a las razones anteriormente expuestas. Una humedad relativa por encima del 70% puede favorecer el desarrollo de hongos y levaduras, mientras que por debajo del 30% propiciará disconfort, como por ejemplo sequedad de ojos y garganta.

3. CONTAMINACIÓN POR AGENTES QUÍMICOS

Estos son de gran importancia, al momento de realizar una investigación sobre CAI, por la gran variedad de compuestos químicos que pueden ser localizados dentro de un edificio, así como las consecuencias que esto puede traer. Estos incluyen a los bioefluentes, el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, el formaldehído y los compuestos orgánicos volátiles.

3.1 BIOEFLUENTES

Contaminantes generados por el cuerpo humano y otros organismos vivos, descritos como bioefluentes, han sido históricamente una preocupación para la calidad del aire interior; estas preocupaciones son el olor y el confort.

El CO_2 es el principal bioefluente producido por el cuerpo humano, el cual es emanado en gran abundancia y es fácil de medir; es por ello que el CO_2 ha servido como indicador de los niveles de bioefluentes y también como indicador de una suficiencia de

ventilación. Se ha estimado que hay una situación de no confort por parte de los ocupantes cuando los niveles de CO_2 se encuentran por encima de los 1000 ppm, por lo que se establece este valor como el límite entre buena y mala ventilación. Por otro lado, el aire con niveles de dióxido de carbono a estos niveles o aún a unos cientos de ppm mayores no es considerado tóxico.

La concentración de CO_2 en el aire de ambientes exteriores, en promedio se encuentra en el rango de los 330 a 400 ppm. En edificios, el CO_2 producido por el metabolismo humano y liberado en la respiración, puede hacer que los niveles de CO_2 varíen desde los valores para el aire exterior hasta niveles que excedan los 4500 ppm. Ver figura N° 2.10.

Figura N° 2.10 Concentraciones de CO_2 (Fuente: Catálogo de equipos TESTO)

Los valores de los bioefluentes en un edificio, (incluyendo el CO_2), dependen de la densidad de ocupación del edificio y de la cantidad de aire fresco suministrado al sistema de ventilación. "Es comúnmente sabido, entre los investigadores de CAI, que existe, por lo menos, una mínima relación entre los niveles de bioefluentes en el aire y el confort humano" (Godish, 2000). Entre otros bioefluentes que han sido reportados en aire de interiores se encuentran: acetona, tolueno, acetaldehído, ácido acético, acetato de etilo, alcohol etílico, fenol, alcohol metílico.

3.2 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Los compuestos orgánicos, especialmente los compuestos orgánicos volátiles (VOC´s), han sido sospechosos de ser causantes de factores de riesgo para síntomas de edificio

enfermo. Entre las razones para tener sospechas de que los VOC´s sean causantes de los síntomas está el hecho de que muchos VOC´s tienen el potencial de causar irritación del sistema sensorial y del sistema nervioso central, los cuales son síntomas característicos del síndrome del edificio enfermo (SEE). Estos compuestos son encontrados en concentraciones significativamente mayores en ambientes interiores comparados con ambientes exteriores. Dada la gran cantidad de VOC´s que se encuentran presentes en el aire interior, éstos pueden provocar síntomas como resultado de la acción aditiva de varios compuestos al mismo tiempo.

Los VOC´s deben recibir una gran atención como agentes potenciales para causar síntomas de SEE, dada su gran variedad, relativa abundancia y su presencia en fase gaseosa en el aire interior.

Los compuestos orgánicos volátiles en el aire interior incluyen hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos halogenados e hidrocarburos oxigenados como aldehídos, alcoholes, cetonas, éteres y ácidos. Estos compuestos son emitidos por una amplia variedad de fuentes incluyendo materiales y muebles del edificio, productos de consumo, materiales para el mantenimiento, equipo de oficina, seres humanos y el humo del tabaco.

3.3 FORMALDEHÍDO

"Este compuesto es un contaminante omnipresente de los espacios interiores" (Godish, 2000). El contraenchapado, madera reconstruida y otros productos de madera prensada a menudo están encolados con resinas a base de formaldehído; los limpiadores y pulimentos también son hechos a base de este compuesto.

El formaldehído puede causar irritación en los ojos, la nariz y la garganta, y algunos autores lo clasifican como un agente causante del cáncer. Algunas personas pueden ser sensibles al formaldehído y experimentar síntomas severos en la piel o el aparato respiratorio. Todos estos son síntomas que caracterizan al SEE y pueden aparecer cuando las concentraciones exceden los 0,05 ppm.

4. CONTAMINACIÓN DE ORIGEN MICROBIOLÓGICO

El aire que respiramos no es una simple mezcla de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono con vapor de agua. En suspensión se encuentran más o menos numerosas partículas inertes de polvo, humos y otras impurezas y, lo que es más importante, una más o menos rica flora y fauna denominada aeroplancton.

Ácaros, polen, esporas y microorganismos son componentes naturales del aire, los cuales causan un gran impacto en la salud humana desde tres puntos de vista: alergias, infecciones e intoxicaciones.

Las partículas inertes donde se concentran antígenos procedentes de ácaros, polen, esporas fúngicas, bacterias, hongos y virus, bien patógenos o bien oportunistas, provocan numerosas clases de enfermedades infecciosas o toxigénicas cuyo único vehículo de infección es el aire.

Por ello es imprescindible conocer la calidad microbiana de un aire confinado, como el más elemental mecanismo de prevención de enfermedades. A nadie se le ocurre hoy día beber un agua que no sea potable; ¿por qué hemos entonces, de vernos obligados continuamente a respirar aire "no potable", contaminado con patógenos al entrar a un hospital, un edificio con aire acondicionado, un avión, un restaurante, un supermercado o un laboratorio?.

Los contaminantes biológicos del aire se pueden clasificar como: **(1) seres vivos**: bacterias, levaduras, mohos, virus, protozoos (amebas) y artrópodos (ácaros); **(2) subproductos biológicos**: polen, esporas, pelos, caspa, excrementos y cadáveres de insectos, arácnidos, madera, papel, plumas, endotoxinas bacterianas, micotoxinas fúngicas.

En general, los niveles de contaminantes de este género, son medidos en unidades formadoras de colonia sobre metro cúbico (UFC/m^3). La NIOSH recomienda niveles por debajo de los 1000 UFC/m^3 para el aire interior.

4.1 BACTERIAS

Las bacterias son unos pequeños organismos unicelulares, que miden desde 0,22 hasta 50 μm, no tienen núcleo pero tienen una pared celular que les proporciona rigidez. Son llamadas *procaryotes* y pertenecen al reino *Monera*.

Las células de bacterias generalmente se presentan en una o varias formas: **Bacilos**, que tienen una forma cilíndrica, **Cocos**, con una forma esférica u ovoide, o **Espirilos,** son las formas más comunes de las bacterias (Ver Figura N° 2.11). Células individuales de bacterias pueden formar pares, cadenas, grupos, u otras formaciones que son características de alguna especie en particular.

Las bacterias generalmente se reproducen por división en dos células hijas iguales, este proceso es llamado fisión binaria. Para su nutrición, la mayoría de las bacterias usan químicos orgánicos los cuáles pueden estar en organismos muertos o vivos. Algunas bacterias pueden fabricar sus propios alimentos por fotosíntesis, y otras pueden obtenerlos de sustancias inorgánicas. Varias bacterias pueden nadar, usando unas extremidades móviles que se llamas flagelos.

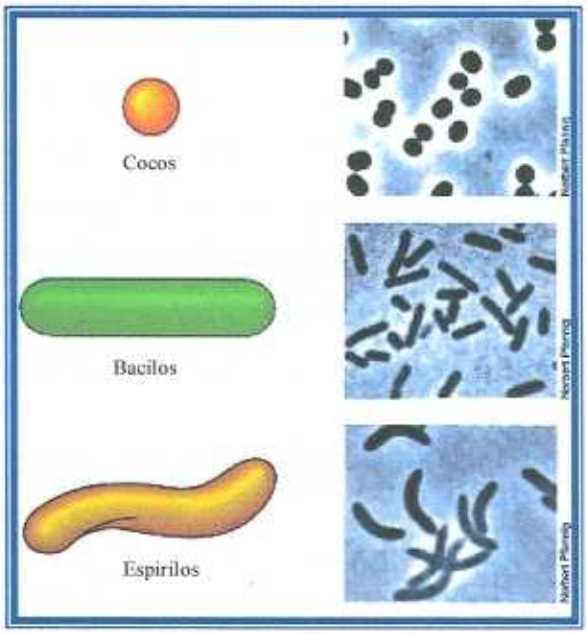


Figura N° 2.11 - Tipos de bacteria

Fuente: TORTORA, 1992.

4.2 HONGOS

Los hongos son llamados *eucaryotes*, son organismos que tienen un núcleo bien definido que contiene todo el material genético de la célula. Este núcleo esta recubierto por la membrana nuclear, que es una capa especial que protege el núcleo. Los hongos

también tienen pared celular que los recubre en el exterior. Estos microorganismos conforman el reino *Fungi*.

Los hongos pueden ser unicelulares o multicelulares. Grandes hongos multicelulares, como los champiñones, pueden parecer como plantas pero la gran diferencia es que los hongos no pueden llevar a cabo la fotosíntesis como la gran mayoría de las plantas.

Los hongos más comunes son los mohos y las levaduras. Las levaduras son organismos unicelulares mientras los mohos son organismos en forma de filamentos multicelulares.

MOHOS

Este tipo de hongos tienen una forma muy característica, tienen un tallo o cuerpo llamados *hifas*, que consisten en largos filamentos de células unidos entre sí. Cada fragmento de una hifa es capaz de crecer y formar otras nuevas hifas. Cuando las condiciones ambientales son apropiadas, las hifas crecen entrelazadas y forman masas llamadas *mycelium*, las cuales son visibles a simple vista (Ver figura N° 2.12). Estos *mycelium* frecuentemente soportan a las esporas, las cuáles son las células reproductivas de los mohos. Las esporas tienen la propiedad de ser arrastradas por corrientes de aire y quedar suspendidas en el mismo. Además las esporas son alergenos típicos.

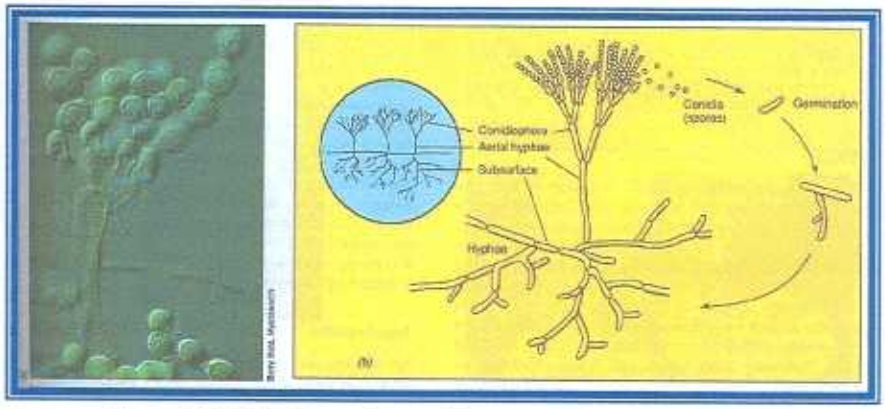


Figura N° 2.12 - Fotomicrografía y esquema de un moho típico

Fuente (TORTORA, 1992)

LEVADURAS

Las levaduras son un tipo de hongo unicelular que típicamente son esféricas u ovaladas. Como los mohos, las levaduras están ampliamente distribuidas en la naturaleza; ellas son frecuentemente encontradas como un polvillo blanco que recubre algunas frutas y hojas.

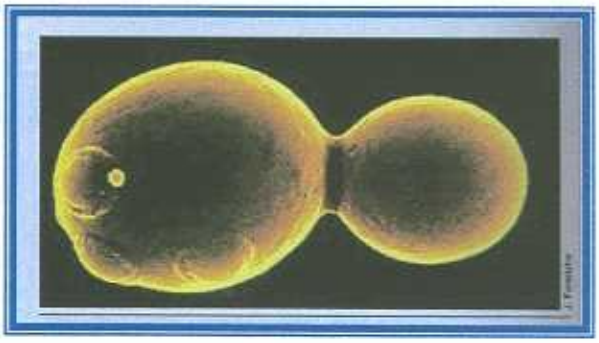


Figura N° 2.13 - Fotomicrografía electrónica de la levadura común, *Saccharomyces Cerevisiae*

Fuente (TORTORA, 1992)

5. PARTÍCULAS SUSPENDIDAS EN EL AIRE

Las partículas suspendidas en el aire constituyen una mezcla de compuestos líquidos y sólidos cuya composición, tamaño y fuente de origen varía considerablemente.

Los aerosoles se caracterizan por formar partículas con un intervalo de tamaños, clasificándose en función del diámetro de masa media aerodinámica (DMMA). Ya que solo las partículas muy pequeñas pueden ser depositadas en el pulmón, su análisis se basa principalmente en su tamaño. De esta forma, el tamaño de partícula determina el lugar y la cantidad de aerosol depositado.

Las partículas respirables suspendidas (PRS) son una fracción de las partículas totales suspendidas (PTS) en el aire, las cuales son de gran importancia en determinar ya que tienen un potencial de causar efectos adversos a la salud.

Las fuentes incluyen al humo del cigarrillo, combustiones internas, aerosoles de sprays, fibras sintéticas y minerales, materiales biológicos y aerosoles externos.

De esta forma se considera que las partículas de aerosol con DMMA menor a 5μm son las ideales para el depósito pulmonar. Las que poseen un tamaño entre 2 y 5 μm se ubican en el depósito tranqueo bronquial; las partículas entre 0,5 y 2 μm son las óptimas para el depósito alveolar, es decir, las que van a tener efecto terapéutico, éste es el "intervalo respirable"; las partículas con DMMA menor a 0,5 μm pueden ser exhaladas.

Por otro lado, las mayores a 5 μm se depositan en la orofaringe (faringe, laringe y vías respiratorias superiores). En la figura N° 2.14 se representa el depósito del aerosol en función del tamaño de la partícula.

El tamaño de partícula no sólo determina el lugar de depósito, sino también el mecanismo. Existen principalmente tres mecanismos de depósito:

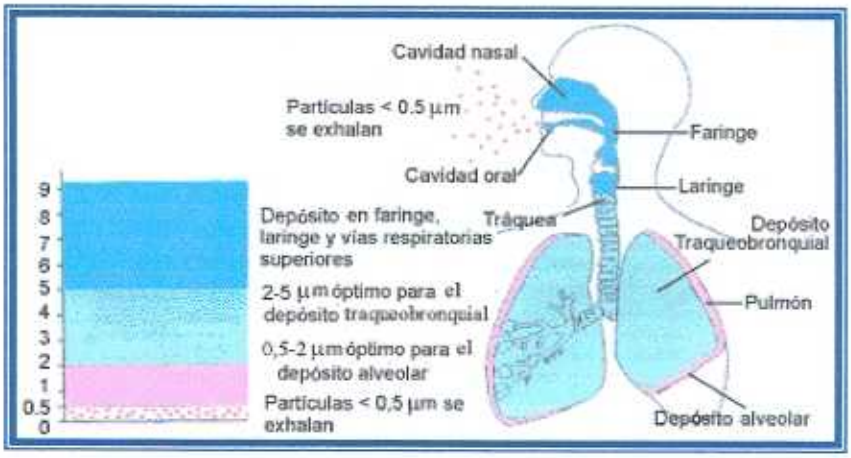


Figura N° 2.14 - Depósito del aerosol en función del tamaño de partícula

- **Impactación por inercia.** Propio de las partículas mayores de 5 μm, se produce en las vías aéreas superiores y está favorecida por una velocidad de flujo elevada.
- **Sedimentación por gravedad.** Lo hacen fundamentalmente las partículas con tamaño comprendido entre 2 y 5 μm.
- **Difusión browniana.** Característica de las partículas menores de 0,5 μm, que se depositan en todo el árbol traqueo bronquial, pudiendo ser exhaladas con la espiración.

A continuación se presenta una tabla que contiene las concentraciones de cada tamaño de partícula según las mejores prácticas de aceptación general:

	Número de partículas por litro de aire			
CLASE	0,3 μm	0,5 μm	1 μm	5 μm
ISO 4	1			
ISO 5	10	4		
ISO 6	102	35	8	
ISO 7	1.020	352	83	3
ISO 8	10.200	3.520	832	29
ISO 9	102.000	35.200	8.320	293

Figura N° 2.15 - Standard ISO 14644-1 *Airborne Particulate Cleanliness Classes*

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

III

El objetivo de una investigación de Calidad de Aire Interior es el de identificar las causas de las quejas (Etapa de diagnóstico), que son la razón de inicio de la investigación, para luego resolver los problemas (Etapa de mitigación) de una forma en que no se vuelvan recurrentes ni creen otro tipo de problemas. En este sentido, a continuación se presenta un modelo de investigación creado por la *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos* (EPA), en el que se visualizan los diferentes pasos que se deben seguir en la realización de este tipo de investigaciones.

Este protocolo fue desarrollado para uso doméstico, sin embargo, contiene muchos elementos que lo hacen apropiado para uso profesional. En el mismo se observa cómo la investigación de CAI es descrita como un ciclo de recolección de información, formulación y prueba de hipótesis.

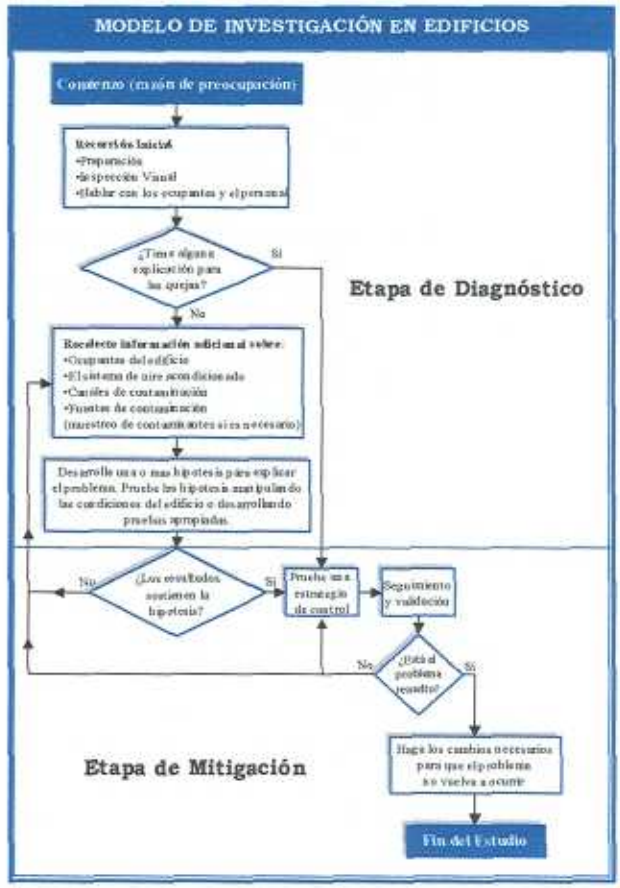


Figura N° 3.1 - Modelo de secuencia de investigación en edificios de la EPA. Ver Anexo N° 2 para mayor detalle. *Traducido y adaptado por los autores.*
Fuente: EPA, NIOSH; 1991.

La metodología seguida en la siguiente investigación se basa en este modelo, realizando los cambios y adaptaciones necesarias. Además, es útil recordar que el alcance de esta investigación se limita a la etapa de diagnóstico.

A continuación se presenta un esquema de la metodología seguida para el desarrollo del Trabajo Especial de Grado.

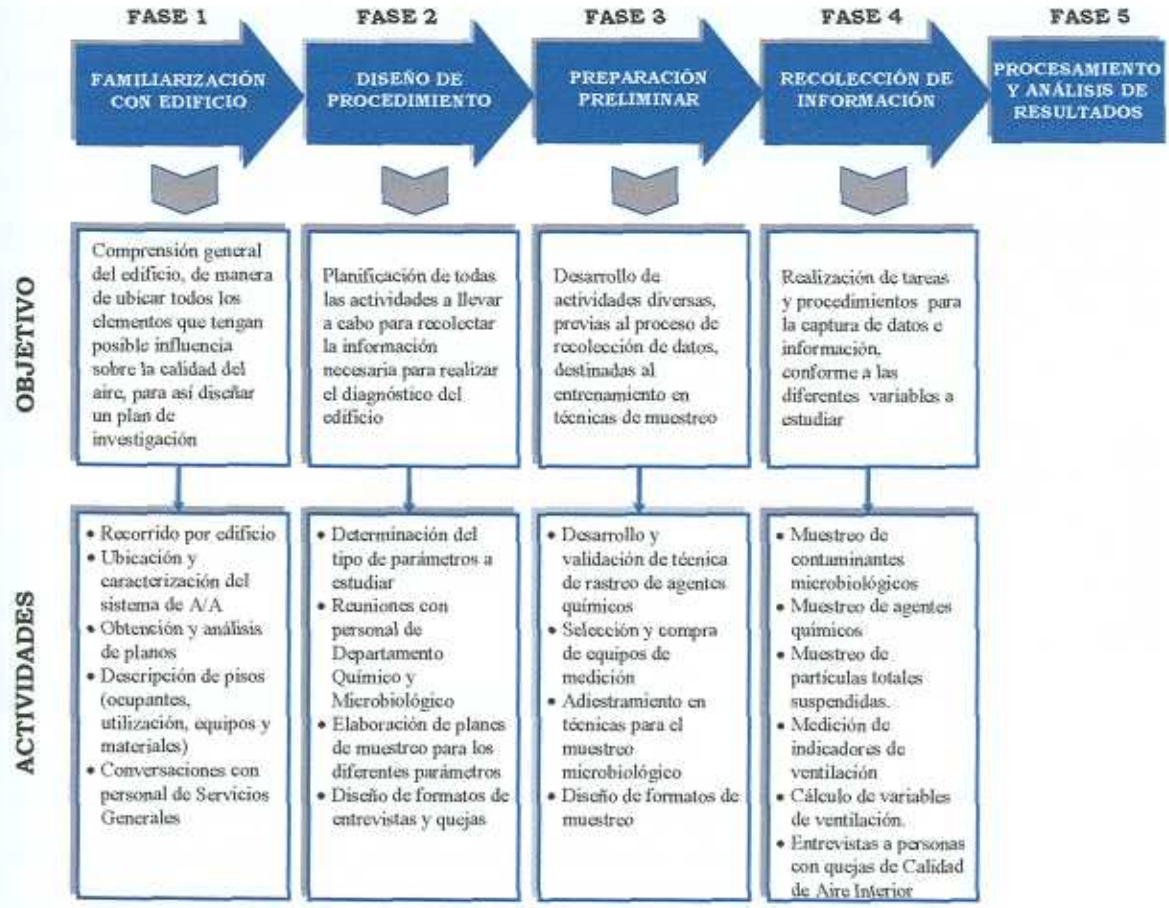


Figura N° 3.2 - Esquema metodológico

Este modelo metodológico puede ser utilizado en cualquier edificio, realizando las modificaciones pertinentes, de acuerdo a las necesidades y recursos disponibles.

1. FAMILIARIZACIÓN CON EL EDIFICIO

Una investigación debe requerir de una o más visitas al lugar del problema. Esto con el objeto de obtener información preliminar acerca de los cuatro factores básicos que afectan la calidad de aire interior: ocupantes, sistema de aire acondicionado, canales y fuentes de contaminación.

Esta etapa inicial está acompañada de actividades como familiarización con los medios de ventilación de los distintos pisos, que en este caso se encuentran conformados por los

sistemas de aire acondicionado; recorridos por los diferentes pisos, de manera de obtener información acerca de su utilización, nivel de ocupación, materiales y equipos que los conforman, así como cualquier otra información relevante acerca de factores con potencial de causar problemas de calidad de aire. Todo esto acompañado de conversaciones e información suministrada por el personal de Servicios Generales.

La información recolectada en esta fase de la investigación se encuentra resumida en una serie de tablas que describen el funcionamiento general de cada uno de los pisos del edificio. Ver Figura N° 3.3.

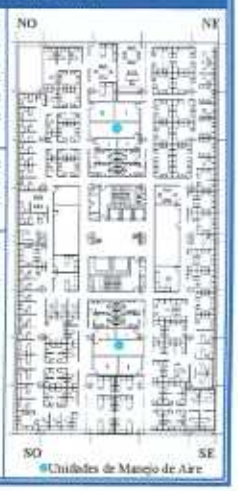
DESCRIPCION FISICA Centro Empresarial Polar - Piso 1		
Área	El área total del piso es de 2.355 m², con un área de oficinas de 1.744 m², 570 m² de áreas comunes y 42 m² de área de centro de medición.	
Ocupación	La ocupación de este piso es de 226 personas aproximadamente, con capacidad para 230.	
Utilización	En este piso se encuentra ubicado el personal de la UEN de alimentos de Empresas Polar. Como se observa en el plano, la mayoría de los puestos de trabajo están conformados por espacios de oficinas abiertos, las cuales se constituyen de tabiques y mobiliarios modulares.	

Figura N° 3.3 - Fragmento de tablas descriptivas de los pisos.
(Ver tablas completas en Anexo N°3)

2. DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO

Antes de comenzar a hacer mediciones de cualquier tipo, se debe desarrollar una estrategia de muestreo, la cual tiene que estar basada en un entendimiento de cómo opera el edificio, haciendo a cada piso una unidad de análisis separada, y cuál es la naturaleza de sus problemas; para de esta forma, poder planear cómo se va a interpretar los resultados obtenidos con el estudio.

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS A ESTUDIAR

INDICADORES

Es de gran utilidad tomar mediciones de ciertos parámetros básicos generales de calidad de aire interior durante la investigación, ya que estos nos indican las condiciones reales de ventilación y confort en la edificación. Estas mediciones son temperatura, humedad relativa y concentración de dióxido de carbono (CO_2).

CONTAMINANTES

Mediciones especializadas y opcionales de contaminantes químicos y biológicos pueden o no indicar la existencia de un problema. Además éstas deben ser interpretadas con una perspectiva basada en las condiciones específicas del sitio. El costo de estas mediciones específicas de agentes químicos y biológicos puede ser bastante elevado. Por lo tanto, antes de invertir tiempo y dinero en el muestreo de este tipo de contaminantes, es de gran ayuda tomar las siguientes decisiones:

- ¿Cómo van a ser utilizados los resultados?
- ¿Qué parámetros son necesarios medir?
- ¿Dónde tomar las muestras?
- ¿Cuándo tomar las muestras?
- ¿Qué método de muestreo y análisis se debe utilizar para que los resultados que se obtengan provean de información útil?

En la siguiente tabla se pueden observar las diferentes mediciones de agentes contaminantes que se van a tomar en cuenta para la investigación, a partir de los hallazgos en la etapa 1:

AGENTES CONTAMINANTES			
	Microbiología	**Material Particulado**	**Compuestos Orgánicos Volátiles**
Mediciones de corto plazo (cuantitativas)	Muestreo de unidades formadoras de colonias de microorganismos mesófilos, mohos y levaduras. Con estas mediciones se busca comparar la cantidad de UFC's de estos microorganismos con las mejores prácticas de aceptación general.	Medición de la concentración de partículas totales suspendidas, por tamaños. Estas mediciones se realizan con la finalidad de comparar con ciertos estándares	Mediciones puntuales con tubos Dräger de: Formaldehído Monóxido de carbono. Con esto se busca conocer la concentración de dichos compuestos en el aire.
Mediciones de largo plazo (cualitativas)	------	------	Adsorción acumulativa de compuestos orgánicos volátiles en carbón activado. Este método permite conocer la presencia o no de una gran cantidad de volátiles orgánicos en el aire, así como su aparición en el tiempo.

Figura N°3.4 - Contaminantes a muestrear

Para todos los parámetros que se van a estudiar, tanto indicadores como contaminantes, se realizaron unas fichas descriptivas, en las cuales se explica la razón por la cual se va a estudiar ese parámetro, el método y equipos que se necesitan para muestrearlo y las normativas o límites permitidos para éste. Un ejemplo de estas fichas se puede observar en la Figura N° 3.5.

MÉTODOS DE MEDICIÓN
Partículas Totales Suspendidas (PTS)

¿Por qué medir este parámetro?

Las partículas suspendidas en el aire constituyen una mezcla de compuestos líquidos y sólidos cuya composición, tamaño y fuente de origen varía considerablemente. Ya que solo las partículas muy pequeñas pueden ser depositadas en el pulmón, su análisis se basa principalmente en su tamaño. Las partículas respirables suspendidas (PRS) son una fracción de las partículas totales suspendidas (PTS) en el aire.

¿Cómo medirlo?

La medición de las partículas totales suspendidas se realiza por medio de un aparato portátil marca BIOTEST, modelo APC 1000, el cual es un contador de partículas que también tiene un indicador de temperatura y humedad relativa. Este contador de partículas puede determinar simultáneamente concentraciones de cuatro clases de tamaño de partículas, las cuales son 0,3; 0,5; 1 y 5 µm.

Figura N°3.5 - Fragmento de ficha que describe los diferentes métodos de medición. Para ver todas las fichas ir a Anexo N°4.

2.2 REUNIONES CON PERSONAL DE DEPARTAMENTO QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

Una vez decididos los parámetros que se necesitan medir para la realización del estudio, hay que profundizar sobre el conocimiento acerca de éste tipo de mediciones, ya que cada una de ellas requiere de una serie de técnicas que sólo personal especializado maneja.

Es por ello que se requiere de la asesoría de personal capacitado para decidir ciertas particularidades de la toma de muestras de cada uno de los parámetros. Estas decisiones son: la cantidad de mediciones para cada muestreo, la localización de las muestras o el punto en dónde se tiene que hacer la medición, la frecuencia con la que se deben hacer los muestreos, las técnicas mas apropiadas para la recolección y análisis de las muestras. Hay algunas mediciones y análisis que requieren del manejo de equipos complejos, que sólo pueden ser operados por personal calificado; también hay técnicas que pueden ser realizadas por personal no especializado, pero necesitan de un entrenamiento que las personas expertas en el área pueden ofrecer.

2.3 ELABORACIÓN DE PLANES DE MUESTREO PARA LOS DIFERENTES PARÁMETROS

Después de haber determinado las características del muestreo de cada uno de los parámetros a estudiar, se procede a la elaboración de un plan de muestreo donde se resuman todos los atributos. Se realizó un diagrama WBS (Work Breakdown Structure) para establecer las actividades y una carta Gantt para ordenar estas actividades en el tiempo (Ver Anexos N° 5 y 6).

PLAN DE MUESTREO			
	Localización	**Frecuencia**	**Cantidad**
Temperatura, CO_2, Humedad Relativa y Partículas Suspendidas en el Aire	Puntos señalados en el plano del interior de los pisos	1 semanal por un mes y diario por una semana	59 puntos en todo el edificios dos veces diarias
Microbiología (Mesófilos y mohos/levaduras)	Unidades de aire acondicionado	1 semanal por un mes y 1 bisemanal por un mes	13 puntos de PCA y 13 puntos de PDA
VOC´s	Unidades de aire acondicionado	1 bisemanal por un mes	21 puntos
Formaldehído	Interior de los pisos	1 bisemanal por 6 semanas	6 puntos, 1 en cada piso
Monóxido de Carbono	Estacionamiento	1 bisemanal por 6 semanas	2 puntos, 1 en cada piso

En total más de 4.000 mediciones entre todas las variables

Figura N°3.6 - Plan de muestreo de los parámetros a estudiar

Para observar la ubicación gráficamente, ver los planos de ubicación de los puntos de muestreo que se encuentran en el Anexo N° 7.

2.4 DISEÑO DE FORMATOS DE ENTREVISTAS Y QUEJAS

Una gran fuente de información acerca de problemas de aire interior, potenciales fuentes de contaminación y de percepción general de las condiciones del edificio, son

las personas que ocupan y laboran en el mismo. Es por ello que es de gran importancia tomarlos en cuenta para la investigación, y para esto se diseñan protocolos, formatos y entrevistas para poder obtener la mejor información posible para conducir la investigación.

Como primer paso para las entrevistas de los ocupantes se tienen que identificar a las personas a ser entrevistadas. Para ello se diseñó un Formato para el Cuestionamiento de de la Calidad del Aire Interior, (Ver Anexo N° 8), en donde se explica a la persona el propósito del mismo, y de una forma sencilla se le pregunta si tiene algún cuestionamiento u observación acerca de la calidad del aire, para que comente alguna posible causa si la conoce. Una vez completado este breve cuestionario por una cantidad de ocupantes, se obtiene como resultado la identificación de una serie de personas con quejas y/o problemas acerca de la calidad del aire, las cuales deben ser entrevistadas a profundidad para obtener información detallada acerca de los problemas reportados.

Una vez que se tienen identificadas a las personas que se van a entrevistar, hay que diseñar una Entrevista de Ocupantes, (Ver Anexo N° 9), en la cual se deben hacer preguntas para poder identificar síntomas, patrones de tiempo, patrones espaciales y cualquier otra información adicional que sea relevante.

3. PREPARACIÓN PRELIMINAR

Una vez establecido el tipo de parámetros a estudiar, y desarrollados los protocolos de muestreo, fue necesario llevar a cabo una serie de tareas previas a las actividades de recolección de información "de campo". Dentro de esta etapa de la investigación se realizaron una serie de experimentos para el desarrollo de la técnica de muestreo de compuestos volátiles orgánicos a utilizar; se seleccionaron y obtuvieron los equipos de medición de concentración de CO_2 y partículas suspendidas; se adquirió el adiestramiento necesario en las técnicas para el muestreo microbiológico; se diseñaron unas tablas-planos para cada piso de manera de facilitar el proceso de recolección de las mediciones de los diversos parámetros a examinar.

3.1 DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE LA TÉCNICA DE RASTREO DE AGENTES QUÍMICOS

Esto se llevó a cabo con la finalidad de establecer todas las actividades necesarias para el muestreo de los VOC's presentes en el aire interior del edificio. Este es un proceso complejo que demanda la realización de diversas tareas y procedimientos previos y posteriores al muestreo propiamente dicho, los cuales deben ser debidamente validados antes de ser utilizados en la investigación.

A continuación se presenta un cuadro resumen con las diferentes tareas emprendidas en esta etapa.

PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE LA TÉCNICA DE MUESTREO POR ADSORCIÓN DE VOC's	
INVESTIGACIÓN	Con el objeto de conocer las técnicas más utilizadas y seleccionar las más apropiadas, de acuerdo a las características del edificio, así como a los equipos disponibles y destrezas del personal de laboratorio, se llevó a cabo una investigación consultando en manuales químicos, catálogos de diferentes marcas presentes en el mercado e Internet.
PRUEBAS EN CAMPANA	Se colocaron cuatro opciones de dispositivos diferentes (jeringa de 6 ml., jeringa de 12 ml., jeringa de 12 ml. con aire forzado por medio de bomba y cápsula de Petri), todos llenos con carbón activado, dentro de una campana, con muestras de pequeños volúmenes de diversos compuestos orgánicos (hexano, tolueno, xileno, benceno, fenol y cloroformo) comunes en edificios con problemas de calidad de aire interior. Estos dispositivos se dejaron por lapso de dos días.
DESORCIÓN Y ANÁLISIS	Luego de los dos días, se procedió a desorber los carbones con Disulfuro de Carbono (CS_2), para luego analizar esta solución en un *cromatógrafo de gases* con *espectrometría de masa* (GC/MS). En esta etapa se validó el procedimiento de desorción con CS_2 y análisis en GC/MS, debido a su adecuada efectividad. (Ver Anexo N° 10)
SELECCIÓN DE DISPOSITIVO	Los dispositivos que mostraron los resultados esperados fueron la jeringa de 12 ml. con aire forzado y la cápsula de Petri. Debido a la mayor facilidad de preparación, así como de muestreo, se decidió emplear las cápsulas de Petri como mecanismo de muestreo.
PRUEBAS EN SITIO	Una vez seleccionado y validado el método a utilizar, se procedió a realizar unas pruebas en sitio, de manera de comprobar el funcionamiento del mismo. Así se dejó un dispositivo en uno de los puntos de muestreo establecidos, por lapso de una semana. Los resultados fueron positivos, es decir, el método fue efectivo (en esta primera prueba se encontraron ciertos compuestos).

Figura N° 3.7 - Actividades para validación de técnica de muestreo de VOC's

3.2 SELECCIÓN Y COMPRA DE EQUIPOS DE MEDICIÓN

Ésta es una labor que requiere de mucha dedicación y es propia de todo proyecto. Se refiere a la selección de los equipos más adecuados en cuanto a factores como la funcionalidad, facilidad de uso, el tiempo de entrega y su precio. Estos equipos son los destinados a la medición de los indicadores de ventilación (temperatura, humedad relativa y concentración de CO_2) y de concentración de partículas suspendidas en el aire. Para cada uno de los equipos que se tuvieron que adquirir se realizó una matriz de decisión, en la cual se evaluaron los atributos más importantes de los equipos dada la ponderación que se muestra en la Figura N° 3.8.

MATRIZ DE DECISIÓN	
Aributo	Ponderación
Costo	30%
Tiempo de entrega	20%
Tipo de medición	20%
Precisión	10%
Portabilidad	10%
PC Compatible	10%
TOTAL	**100%**

Figura N°3.8 - Matriz de decisión para los equipos

3.3 ADIESTRAMIENTO EN TÉCNICAS PARA EL MUESTREO MICROBIOLÓGICO

Antes de realizar los muestreos en el ámbito microbiológico, fue necesario llevar a cabo una serie de actividades de adiestramiento y aprendizaje de técnicas y procedimientos, así como de la teoría indispensable para el entendimiento y desarrollo de los mismos.
En este sentido, estas tareas se pueden dividir en cuatro grupos diferentes, que son descritos a continuación.

ACTIVIDADES PREVIAS AL MUESTREO MICROBIOLÓGICO	
Inducción teórica	Antes de comenzar con cualquier actividad práctica, se recibió una pequeña inducción acerca de los microorganismos, sus características, clasificación, condiciones para la vida, etc., de manera de familiarizarse con los términos y definiciones, así como tener una base para poder entender los procedimientos y cuidados a tener en las siguientes etapas.
Entrenamiento en preparación de medios de cultivo y llenado de tiras	Para la toma de las muestras microbiológicas, es necesario preparar los medios de cultivo respectivos y verterlos en unas tiras especiales para los aparatos de muestreo. De esta manera, se recibió un entrenamiento en esta materia, haciendo hincapié en el especial cuidado que hay que tener una vez preparados los medios, de forma de que estos no se vean contaminados antes de realizar las pruebas. (Ver procedimiento de preparación de medios de cultivo y llenado de tiras en Anexo N°11)

Adiestramiento en utilización del aparato	De igual forma, se obtuvo adiestramiento en la utilización y funcionamiento del aparato de muestreo, así como en los cuidados que se deben tener en el momento de tomar las muestras. (Ver Anexo N°4 para observar funcionamiento del aparato)
Instrucción en análisis de muestras	Una vez tomadas las muestras, éstas deben ser incubadas para proporcionar las condiciones necesarias para el crecimiento de los microorganismos, así como acelerar el mismo. Luego del tiempo necesario, se procede a contar el número de colonias existentes, y mediante el volumen de aire que se haya hecho circular por el aparato, este número se lleva a UFC/m^3.

Figura N° 3.9 - Actividades para adiestramiento en muestreo microbiológico

4. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Esta fase de la metodología es ya la puesta en marcha de los planes para la recolección de la información, tanto primaria a través de las mediciones directas de las variables a estudiar, como secundaria las cuales se calculan a partir de otras variables conocidas.

4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN POR MUESTREO

Para la recolección de la información primaria se llevan a cabo varios muestreos. Para llevarlos a cabo de forma organizada se realizó un cronograma cruzado indicando las semanas en las que se van a realizar los procedimientos necesarios para recoger la información acerca del edificio.

CRONOGRAMA DE MUESTREO								
SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8
Microbiología	✓	✓	✓	✓		✓		✓
VOC's		✓		✓		✓		✓
Temperatura				✓	◆	✓	✓	
Hum. Relativa				✓	◆	✓	✓	
CO2				✓	◆	✓	✓	
PTS				✓	◆	✓	✓	
Formaldehído			✓			✓		
CO			✓			✓		

◆ Todos los días de la semana
✓ Un día de la semana

Figura N° 3.10 - Cronograma de muestreo

4.2 CÁLCULO DE VARIABLES DE VENTILACIÓN

Otra manera de recolectar información, es por medio del cálculo de parámetros a partir de información primaria recolectada en el edificio. En éste caso se calculó la cantidad de aire fresco disponible por persona (cfm/pers) a partir de la ocupación del edificio, el área total dentro de la edificación, la concentración media de CO_2 en el interior y en el aire fresco, las cuales son variables que se recolectan directamente en el edificio.

El procedimiento utilizado para calcular el aire fresco por persona a partir de las concentraciones de CO_2 fue desarrollado por el *Danish Building Research Institute*, el cual puede ser apreciado con detalles en el Anexo N° 12.

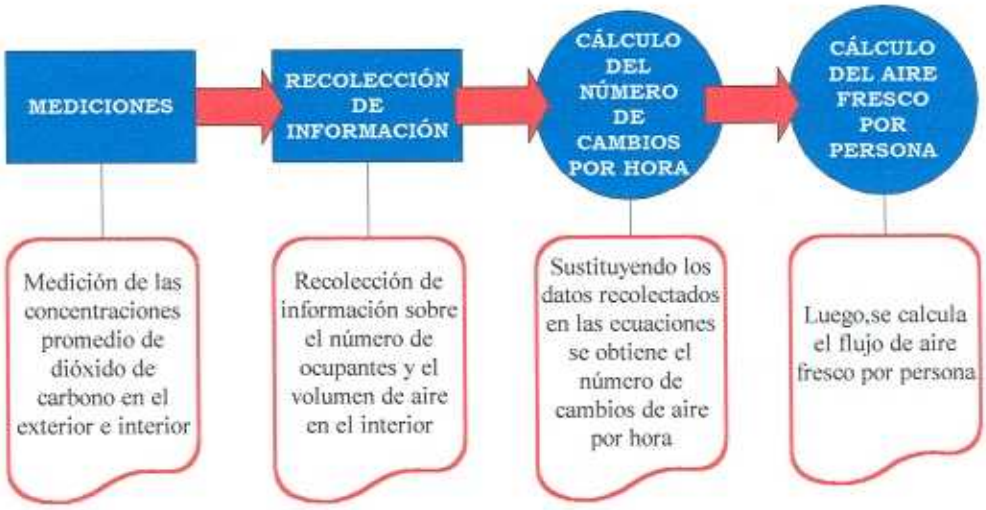


Figura N° 3.11- Secuencia para el método de cálculo del aire fresco por persona

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

IV

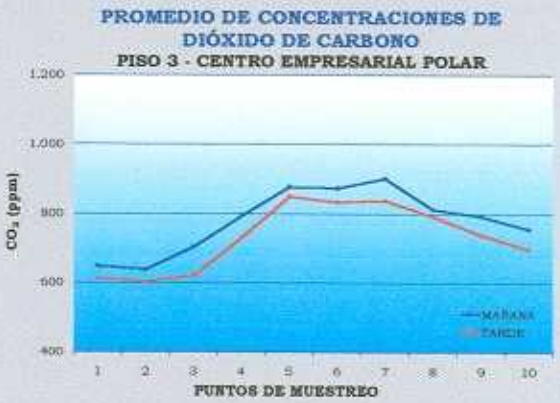
En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de todos los procedimientos seguidos en la investigación. Los resultados están divididos de acuerdo a la variable que se está estudiando. En el siguiente esquema se presentan cada una de las variables relacionadas con la forma en que se muestran los resultados.

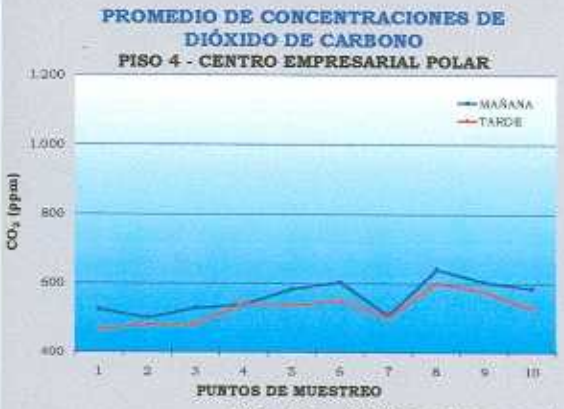
VARIABLE	PRESENTACIÓN
1. Dióxido de Carbono	• Gráficos de distribución de espacio (promedios del edificio y de cada piso) • Gráficos de distribución en el tiempo de muestreo (promedios del edificio, de cada piso y valores del aire exterior) • Tabla de verificación de rangos aceptables
2. Temperatura **3. Humedad Relativa** **4. Partículas suspendidas en el aire**	• Gráficos de distribución de espacio (promedios del edificio y de cada piso) • Gráficos de distribución en el tiempo de muestreo (promedios del edificio, de cada piso y valores del aire exterior)
5. Contaminantes Químicos	• Tabla de compuestos presentes en el aire muestreados por adsorción en carbón activado • Niveles existentes de compuestos muestreados con tubos Dräger
6. Contaminantes Microbiológicos	• Tabla con las concentraciones de microorganismos en el aire
7. Aire Fresco	• Tabla con las cantidades de aire fresco disponibles por persona en cada piso
8. Registro de Incidentes	• Lista de síntomas y enfermedades asociadas al problema, que se han presentado en el CEP.

Figura N° 4.1 – Estructura del capítulo de resultados

1. CONCENTRACIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

DISTRIBUCIÓN EN EL ESPACIO





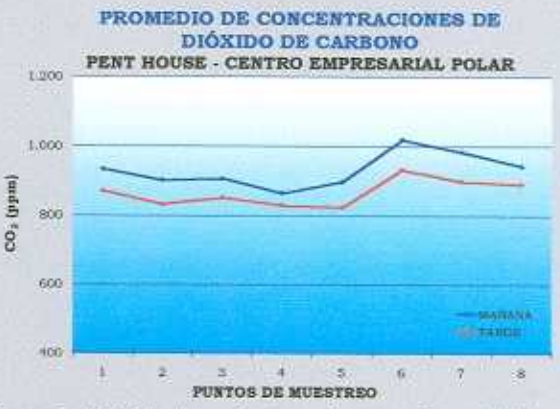


Fig. 4.2 – Gráficos de concentraciones de dióxido de carbono vs. lugares de medición

DISTRIBUCIÓN EN EL TIEMPO

Fig. 4.3 – Gráficos de concentraciones de dióxido de carbono vs. días de medición

TABLA DE VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE LA VENTILACIÓN

Determinación de mala ventilación, respecto al límite de 1.000 ppm de dióxido de carbono. (Todos los valores están en ppm de CO_2)

LUGAR	PUNTO DE MEDICIÓN	FECHA / HORA																MALA VENTILACIÓN
		30/8		3/9		4/9		5/9		6/9		7/9		13/9		20/9		
		MAÑ	TAR	MAÑ	TAR	MAÑ	TAR	MAÑ	TAR	MAÑ	TAR	MAÑ	TAR	MAÑ	TAR	MAÑ	TAR	
PLANTA BAJA	1	1.110	495	838	551	685	462	677	518	1.040	527	970	513	743	466	603	460	SI
	2	935	565	707	589	595	602	567	554	730	655	799	651	672	542	648	582	
	3	620	554	647	669	511	509	508	669	596	624	577	465	512	435	636	517	
	4	750	710	763	776	808	830	628	720	676	714	696	625	656	523	709	677	
	5	764	684	760	710	731	874	632	690	719	815	755	630	735	662	712	707	
	6	788	1.090	794	713	731	790	637	749	728	765	738	666	697	681	723	730	SI
	7	695	710	702	686	725	750	643	680	690	694	725	627	665	631	669	714	
	8	715	612	790	644	683	717	586	671	650	676	663	633	730	560	618	653	
	9	1.070	653	843	956	675	550	629	546	954	584	1.031	542	952	488	626	528	SI
	10	1.142	659	971	529	681	538	1.133	557	803	565	1.378	748	1.239	514	801	598	SI
PISO 1	1	815	834	776	825	727	885	701	903	892	854	828	816	893	963	687	750	
	2	790	829	844	841	821	1.083	729	853	880	932	959	827	885	943	705	790	SI
	3	856	1.062	870	956	836	1.054	738	1.070	898	1.055	891	803	906	1.050	845	823	SI
	4	898	1.060	904	1.125	929	1.004	853	1.075	989	1.160	987	890	1.033	1.092	934	962	SI
	5	944	971	982	1.058	914	1.032	832	1.146	991	1.090	927	828	1.007	1.090	907	920	SI
	6	789	1.060	880	973	858	988	795	1.020	915	1.080	905	854	1.047	1.119	953	946	SI
	7	794	1.002	931	964	852	1.030	804	990	939	1.074	873	834	987	1.088	928	956	SI
	8	770	967	862	992	854	973	738	959	930	1.001	856	883	963	1.001	889	887	SI
	9	760	903	873	918	794	954	790	911	877	920	812	838	913	1.040	796	824	SI
	10	755	913	948	875	839	914	860	890	877	898	803	853	895	1.042	728	800	SI
PISO 2	1	756	720	910	727	699	756	656	738	721	795	813	785	812	842	789	781	
	2	711	700	831	685	696	736	651	719	701	780	778	721	734	771	745	751	
	3	703	690	805	751	739	793	643	740	709	795	797	730	765	788	734	750	
	4	758	687	860	774	778	768	671	777	810	936	855	679	807	862	788	805	
	5	780	699	874	841	680	823	667	810	795	913	834	670	856	837	763	776	
	6	895	706	975	860	690	793	699	820	805	891	835	691	900	861	805	806	
	7	880	724	983	1.081	841	799	816	797	805	922	890	724	962	876	852	844	SI
	8	834	790	943	950	743	930	809	831	800	893	908	792	933	929	883	934	
	9	834	793	876	956	875	834	858	848	787	824	892	825	868	870	858	850	
	10	830	757	825	809	875	833	751	766	771	910	879	886	944	845	805	814	
PISO 3	1	664	587	643	594	714	636	612	586	604	648	653	583	660	667	630	600	
	2	656	576	652	628	620	622	577	582	530	660	623	579	785	613	656	557	
	3	730	607	731	705	656	622	803	607	584	661	745	603	674	604	702	555	
	4	873	673	843	728	742	786	733	755	803	780	772	648	864	709	726	766	
	5	843	845	960	779	837	930	907	890	820	843	822	742	940	892	883	873	
	6	829	785	1.041	795	890	873	843	824	832	897	805	751	907	878	833	857	SI
	7	853	798	1.060	776	954	893	856	816	813	905	937	789	946	853	788	869	SI
	8	790	732	818	773	923	790	734	756	728	919	863	720	879	840	764	806	
	9	924	669	764	723	866	729	722	743	694	813	791	679	808	807	764	739	
	10	820	641	715	715	852	687	705	657	684	786	757	656	800	742	704	681	
PISO 4	1	538	454	586	539	587	463	578	476	521	501	458	420	487	435	429	449	
	2	486	446	504	493	480	487	611	500	487	538	501	445	484	463	451	461	
	3	572	453	664	452	485	569	500	506	476	469	498	447	538	475	488	475	
	4	529	444	504	673	519	482	667	543	509	497	495	558	535	544	546	603	
	5	532	512	570	520	714	492	644	582	511	549	541	552	541	549	609	528	
	6	665	520	600	662	752	508	629	534	561	550	538	545	527	538	550	534	
	7	500	475	537	490	536	471	512	516	492	511	471	491	502	546	504	510	
	8	523	458	663	931	794	615	838	588	505	531	603	487	514	510	689	684	
	9	605	499	582	838	593	557	486	493	743	628	590	565	582	472	640	550	
	10	555	497	760	587	589	521	502	513	542	530	570	524	572	474	594	566	
PENT HOUSE	1	972	700	905	816	930	891	951	945	914	1.106	901	775	963	843	934	889	SI
	2	928	720	886	811	845	854	847	894	936	897	918	795	951	830	901	851	
	3	922	758	905	839	818	836	851	890	912	1.005	971	832	969	820	896	835	SI
	4	890	743	821	776	777	836	793	967	850	857	965	839	981	819	840	799	
	5	758	703	976	803	804	862	895	841	884	888	970	810	1.007	910	877	770	SI
	6	874	980	1.065	943	1.070	1.077	1.051	1.003	1.070	944	1.040	898	1.075	843	913	773	SI
	7	868	891	1.037	890	1.110	934	956	1.000	940	942	1.014	880	1.022	854	927	802	SI
	8	832	877	1.108	880	980	996	917	1.019	904	937	975	843	959	816	867	754	SI

Figura N° 4.4 – Tabla de verificación de la calidad de la ventilación.
Los valores en rojo sobrepasan los 1000 ppm de concentración de CO_2.
La palabra SI indica la existencia de mala ventilación en ese punto

2. TEMPERATURA ABSOLUTA

DISTRIBUCIÓN EN EL ESPACIO

Fig. 4.5 – Gráficos de temperaturas absolutas vs. lugares de medición

DISTRIBUCIÓN EN EL TIEMPO

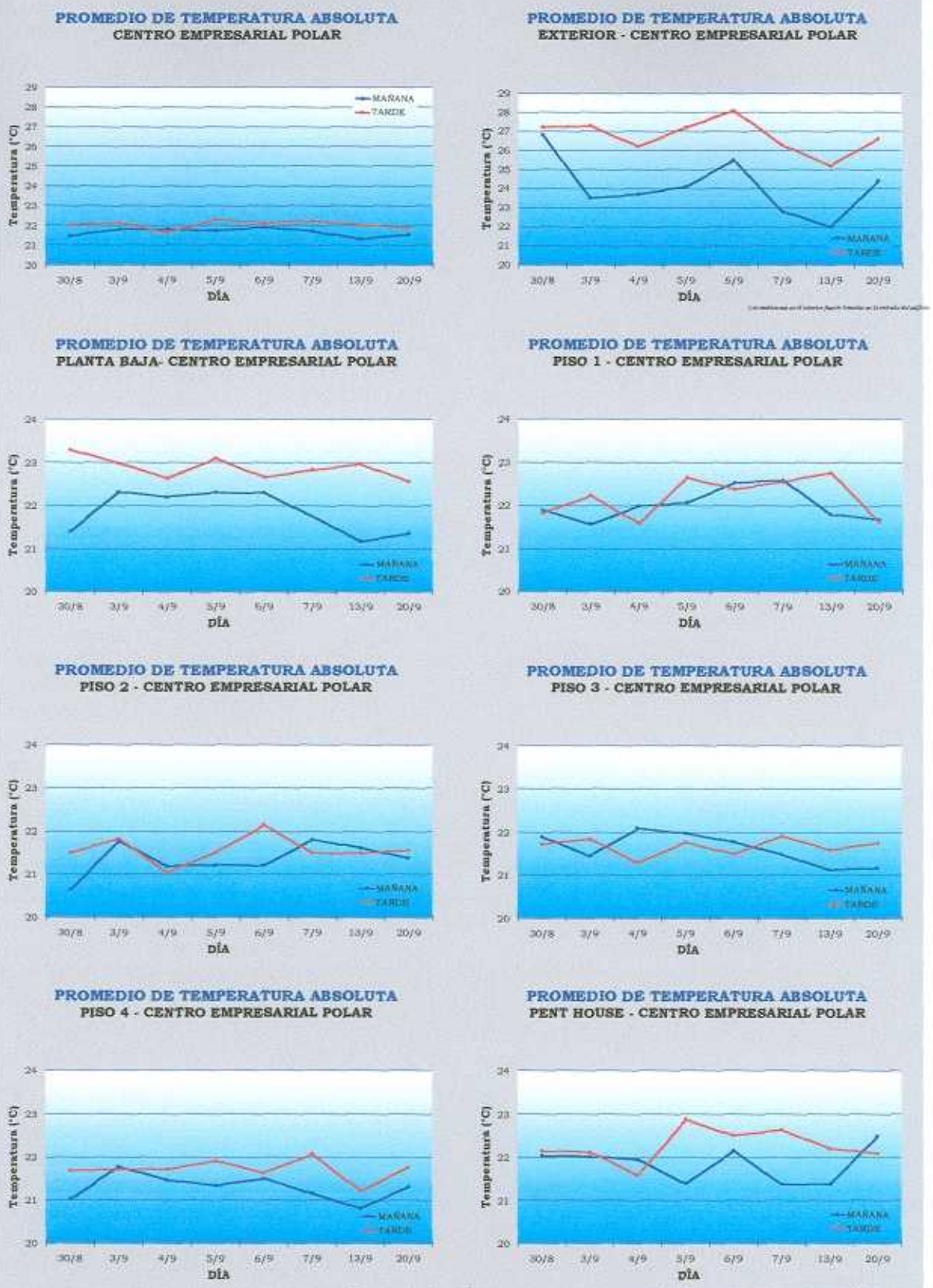


Fig. 4.6 – Gráficos de temperaturas absolutas vs. días de medición

3. HUMEDAD RELATIVA

DISTRIBUCIÓN EN EL ESPACIO

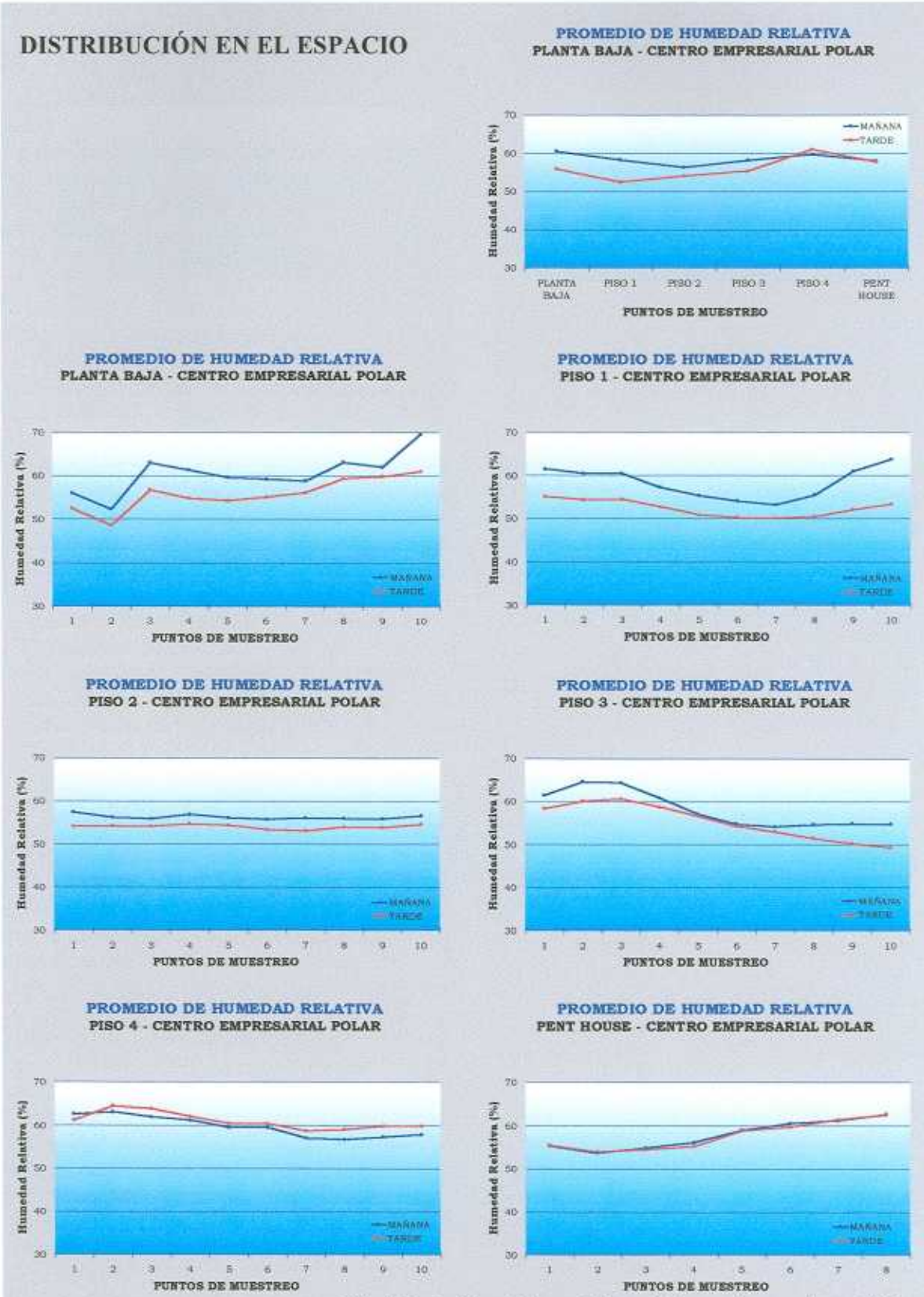


Fig. 4.7 – Gráficos de humedades relativas vs. lugares de medición

DISTRIBUCIÓN EN EL TIEMPO

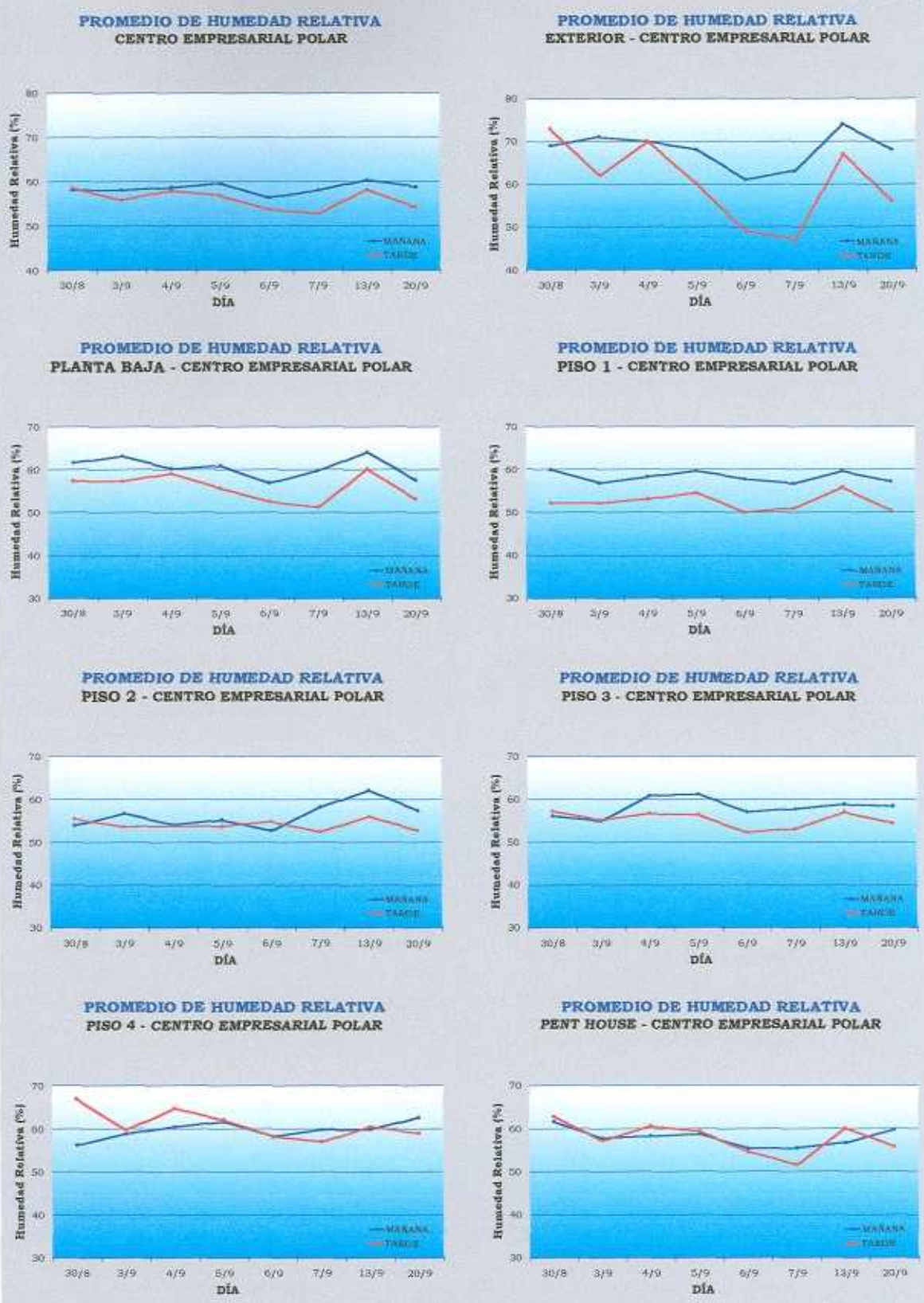


Fig. 4.8 – Gráficos de humedades relativas vs. días de medición

4. PARTÍCULAS SUSPENDIDAS EN EL AIRE

DISTRIBUCIÓN EN EL ESPACIO

Fig. 4.9 – Gráficos de partículas totales suspendidas vs. lugares de medición

DISTRIBUCIÓN EN EL TIEMPO

Fig. 4.10 – Gráficos de partículas totales suspendidas vs. días de medición

5. CONTAMINACIÓN QUÍMICA

En la siguiente tabla se presentan los compuestos orgánicos volátiles encontrados en el aire luego de 8 semanas de exposición del carbón activado en el aire.

TABLA DE COMPUESTOS PRESENTES EN EL AIRE		
PISO	ALA	COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (VOC's)
PLANTA BAJA	NORTE	Hexano, tolueno, p-xileno, etil-benceno, trimetilbenceno.
	SUR	Hexano, trimetil-pentano, heptano, isodecano, tolueno, undecano, m-,p-,o-xileno, dimetil-benceno, trimetil-benceno
1	NORTE	Hexano, pentano, heptano, isodecano, tolueno, dihidroxibenzaldehido, etil-benceno, undecano, p-xileno, 1,3 metil-benceno, trimetil-benceno
	SUR	Tolueno, m-,p-,o-xileno, etil-metil-benceno, limonene
2	NORTE	Tolueno, etil-benceno, p-xileno, metil-benceno, trimetil-benceno
	SUR	Isodecano, tolueno, dihidroxibenzaldehido, undecano, m-,p,-o-xileno, etil-metil-benceno, trimetil-benceno, limonene
3	NOR-ESTE	Hexano, tolueno, m-,p-,o-xileno, trimetil-benceno
	NOR-OESTE	Hexano, pentano, octano, tolueno, 2 metil-pentano, etil-benceno, m-,p-xileno, trimetil-benceno
	SUR-ESTE	Hexano, pentano, tolueno, p-xileno, trimetil-benceno
	SUR-OESTE	Hexano, isodecano, tolueno, m-,p-xileno, dimetil-benceno, trimetil-benceno
4	NOR-ESTE	Hexano, isodecano, decano, tolueno, p-xileno, etil-metil-benceno, trimetil-benceno
	NOR-OESTE	Tolueno, p-xileno, trimetil-benceno
	SUR-ESTE	Tolueno, trimetil-benceno
	SUR-OESTE	Tolueno, m-,p-,o-xileno, trimetil-benceno
PENT HOUSE	NOR-OESTE	Hexano, heptano, tolueno, m-o-xileno, limonene, trimetil-benceno
	NOR-ESTE	Tolueno, trimetil-benceno
	SUR	Isodecano, tolueno, dihidroxibenzaldehido, p-xileno, etil-benceno, limonene, etil-metil-benceno, trimetil-benceno

Figura N° 4.11 – Tabla de volátiles orgánicos detectados en el aire

En la figura N° 4.12 (ver página siguiente) se puede observar un ejemplo de un cromatograma de una de las muestras de carbón activado (muestra del piso PB, ala sur), que se analizó para determinar la presencia de compuestos orgánicos volátiles (VOC's). Para observar en detalle los cromatogramas de todos los pisos, remitirse al Anexo N°13.

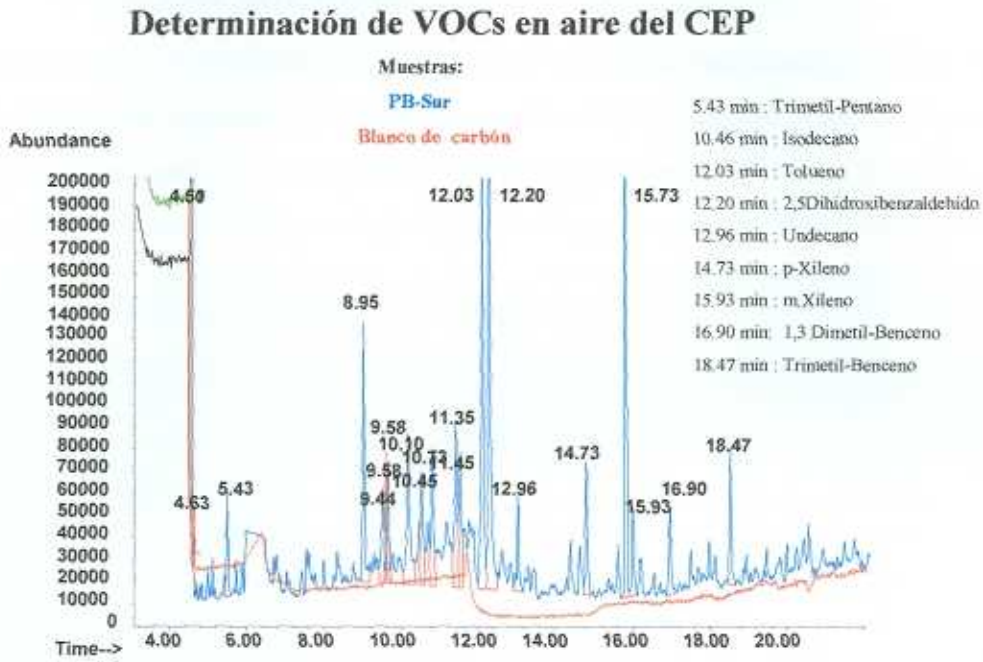


Figura N°4.12 - Cromatograma de una de las muestras de carbón activado

NIVELES PRESENTES DE COMPUESTOS MUESTREADOS CON TUBOS DRÄGER

Para el muestreo del monóxido de carbono (CO) y el formaldehído (CH_2O), se utilizaron los tubos Dräger con el objeto de detectar la presencia y cuantificar la concentración, de estos dos compuestos en el aire interior. Dada la apreciación de los tubos, las mediciones no son muy precisas, sin embargo, dan una idea del orden de magnitud de las concentraciones. Además, estos tubos sirven perfectamente para detectar la presencia de estos compuestos en el ambiente.

Los valores de las mediciones resultaron bien similares en todos los puntos muestreados, para ambos compuestos.

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN (ppm)
Formaldehído	0,03 ± 25%
Monóxido de carbono	10 ± 25%

Figura N° 4.13 – Tabla de concentración de formaldehído y monóxido de carbono

6. AGENTES MICROBIOLÓGICOS

A continuación se presentan los resultados del muestreo microbiológico. Los valores en rojo representan aquellos que se encuentran fuera de las mejores prácticas de aceptación general, de acuerdo a recomendaciones propuestas por la NIOSH. (Todos los valores reportados están en unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire; UFC/m^3)

CONTEO DE ORGANISMOS MESÓFILOS

LUGAR DE MEDICIÓN		27-Jul	03-Ago	10-Ago	17-Ago	31-Ago	14-Sep
PB	NORTE	150	75	50	25	150	325
	SUR	450	575	700	450	######	25
PISO 1	NORTE	400	325	125	175	25	275
	SUR	275	0	125	50	75	150
PISO 2	NORTE	100	100	125	75	0	175
	SUR	75	75	125	75	325	150
PISO 3	NORTE	125	325	275	275	50	150
	SUR	75	50	1.625	200	900	325
PISO 4	NORTE	100	575	275	1.700	100	175
	SUR	100	75	150	200	100	375
PH	NORTE	100	175	225	575	50	150
	SUR	50	150	100	25	1.400	250

Este valor no pudo ser cuantificado (incontable)

CONTEO DE MOHOS Y LEVADURAS

LUGAR DE MEDICIÓN		27-Jul	03-Ago	10-Ago	17-Ago	31-Ago	14-Sep
PB	NORTE	540	60	200	180	160	60
	SUR	480	220	100	80	120	380
PISO 1	NORTE	460	0	120	20	160	220
	SUR	160	140	60	400	200	100
PISO 2	NORTE	120	360	20	60	100	80
	SUR	220	120	300	0	340	100
PISO 3	NORTE	120	700	320	120	380	940
	SUR	260	400	1.400	280	260	260
PISO 4	NORTE	200	600	1.700	300	140	420
	SUR	240	800	240	60	80	960
PH	NORTE	20	900	580	3.660	1.460	840
	SUR	120	240	1.460	260	480	1.620

Figura N° 4.14 – Tablas de resultados de muestreos de agentes microbiológicos

7. AIRE FRESCO POR OCUPANTE

A continuación se presenta la tabla con los cálculos de la cantidad de aire fresco por persona para cada uno de los pisos. Los valores en rojo representan aquellos que se encuentran fuera de las normas *(Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo, Art. 122)*, las cuales indican que se deben tener 20 cfm por persona.

Piso	Ocupación	Área (m^2)	Volumen (m^3)	Ci (ppmCO2)	Y avg	n avg	Rata de Vetilación (L/s/pers)	cfm por persona
PB	95	2.355	5.888	859	1,61	0,59	10	**21**
1	226	2.313	5.783	1.043	0,93	1,07	8	**16**
2	200	2.355	5.888	888	0,81	1,23	10	**21**
3	159	2.355	5.888	826	0,90	1,06	11	**23**
4	62	2.355	5.888	619	1,21	0,81	21	**45**
PH	152	1.195	2.988	991	0,66	1,51	8	**17**

***Nota**: estos cálculos consideran que la concentración promedio de CO_2 en el ambiente exterior es 390 ppm y que la emisión de CO_2 por persona es $18*10^{-3}$ m^3/hora.*

Figura N° 4.15 – Tabla de cálculos de renovación de aire fresco por persona

8. REGISTRO DE INCIDENTES PREVIOS

En el Centro Empresarial Polar, en los últimos tres años, se han presentado una serie de incidentes entre las personas que laboran en el edificio, los cuales se pueden relacionar con la calidad del aire interior. Estos síntomas fueron registrados en el servicio médico de la mencionada empresa en varias oportunidades.

Entre los síntomas que se reportaron en el servicio médico se encuentran: rinitis, faringitis, tos, ronquera, asma, disnea (dificultad de respirar), irritación conjuntiva, dolor de cabeza, jaqueca, mareos, fatiga, sarpullidos y erupciones.

Además, se desarrolló un sistema de reporte de incidentes, de manera de poder registrar formalmente los síntomas o incomodidades que algún ocupante del edificio pueda experimentar en un futuro, así como una serie de preguntas relacionadas con el lugar y momento en que se produjo el evento. Ver Anexo N° 8 y 9.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

V

En el siguiente capítulo, las mediciones del aire interior serán analizadas básicamente de tres maneras: comparando diferentes áreas del edificio entre sí o comparando las condiciones internas con las externas; verificando ciertos indicadores asociados con condiciones particulares del edificio; y comparando las mediciones con ciertos estándares o buenas prácticas de aceptación general. Estos análisis serán realizados en función de las siguientes áreas o temas: **(1) Ventilación, (2) Contaminantes y (3) Incidentes Previos**.

1. VENTILACIÓN

La evaluación del sistema de ventilación existente, se lleva a cabo desde dos puntos de vista diferentes, la renovación del aire interior y la eficiencia de la distribución de la ventilación.

1.1 RENOVACIÓN DEL AIRE INTERIOR

La renovación del aire interior se puede medir en términos de la cantidad de aire fresco que es suministrado a cada uno de los sistemas de ventilación. La concentración de dióxido de carbono presente en el ambiente es un indicador de cuán buena es la ventilación. (Ver anexo N°14).

Figura N° 5.1 – Promedio de concentraciones de CO_2 en el CEP

Durante el período de mediciones, los pisos que presentaron la mayor concentración de dióxido de carbono en el aire interior, fueron el piso 1 y el pent house (Figura N° 5.1). Además, es importante señalar que estas concentraciones aumentan de mañana a tarde sólo en el piso 1; esto puede ser un indicador de que ese piso es el que presenta los mayores problemas en cuanto a renovación del aire, para las condiciones de ocupación y área que cada uno de éstos exhiben. Por otra parte, el promedio de todas las mediciones realizadas en cada uno de los pisos muestra una concentración de CO_2 por debajo de los 1000 ppm. Sin embargo, las referencias consultadas coinciden en hablar de mala ventilación cuando la concentración **pico** de CO_2 se encuentra por encima de este valor. De esta manera, según los hallazgos presentados a continuación, se puede afirmar que las siguientes zonas (conjunto de puntos adyacentes) presentan mala ventilación:

LUGAR	PUNTO	MALA VENTILACIÓN
PLANTA BAJA	1	SI
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	SI
	7	
	8	
	9	SI
	10	SI
PISO 1	1	
	2	SI
	3	SI
	4	SI
	5	SI
	6	SI
	7	SI
	8	SI
	9	SI
	10	SI

LUGAR	PUNTO	MALA VENTILACIÓN
PISO 2	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	SI
	8	
	9	
	10	
PISO 3	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	SI
	7	SI
	8	
	9	
	10	

LUGAR	PUNTO	MALA VENTILACIÓN
PISO 4	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
PENT HOUSE	1	SI
	2	
	3	SI
	4	
	5	SI
	6	SI
	7	SI
	8	SI

Figura N° 5.2 – Puntos de muestreo con mala ventilación. *Ver Anexo N° 7 para ubicar puntos en planos*

- En la planta baja, el ala sur (que corresponde a los puntos 1, 9 y 10) constituido por el área social cervecera, el comedor y la cocina.
- Las cuatro zonas del piso 1 (noreste, noroeste, sureste y suroeste).
- La zona noreste del piso 3.
- Las cuatro zonas del pent house.

Según los cálculos de renovación del aire fresco, se ratifica la mala ventilación existente en los pisos 1 y pent house, los cuales se encuentran por debajo de los niveles recomendados (20 cfm por persona). Además, se puede concluir que es necesario un aumento de aproximadamente el 20% en la entrada de aire fresco de ambos pisos. Por otra parte, es interesante que todos los pisos a excepción del piso 4, se encuentren muy cerca de los niveles mínimos recomendados de renovación de aire por persona.

Piso	Renovación de aire fresco (cfm/persona)
PB	21
1	16
2	21
3	23
4	45
PH	17

Figura N° 5.3 – Renovación de aire fresco por persona en cada piso

1.2 EFICIENCIA DE LA DISTRIBUCIÓN DEL AIRE INTERIOR

De acuerdo a los gráficos de distribución de temperaturas absolutas en el espacio (Figura N° 4.5) se pueden realizar las siguientes inferencias:

- Los puntos ubicados en la fachada oeste del edificio (en todos los pisos), presentan la mayor diferencia de temperaturas entre mañana y tarde. Esto posiblemente debido al calor radiante, producto de la incidencia de los rayos del sol sobre esta fachada en las horas de la tarde.
- En promedio (promedio de temperaturas por pisos, figura N° 4.5) los pisos 2, 3 y 4 presentan temperaturas por debajo de las recomendadas.
- El área de la cocina, en la planta baja, carece de un sistema de ventilación adecuado, lo que hace que las temperaturas lleguen a ser muy elevadas.
- En general, el sistema de aire acondicionado es muy rígido, es decir, no toma en cuenta las diferencias de carga térmica entre los espacios que se encuentran en la misma zona; esta carga cambia con la cantidad de personas (que a su vez produce un aumento en el número de computadoras, copiadoras, etc.), así como con la diferencia en la exposición solar de las diferentes áreas.

Desde otro punto vista, se tiene que la humedad relativa se encuentra dentro de los rangos recomendados, en todos los puntos del edificio; además, los valores dentro de cada piso son bastante uniformes.

2. CONTAMINANTES

Dentro de esta clasificación se tiene tanto a los contaminantes químicos, los microbiológicos, como el material particulado presente en el aire interior. De esa forma, se procede a analizar cada uno de estos agentes de manera individual.

2.1 CONTAMINACIÓN POR AGENTES QUÍMICOS

Según los hallazgos encontrados por la adsorción con carbón activado, se tiene que existe presencia de una gran cantidad de volátiles orgánicos en el aire interior, siendo éstos en total más de veinte. Entre los compuestos con mayor presencia en el edificio están el tolueno, el xileno, el hexano y compuestos de la familia del benceno (etil-, trimetil-, etilmetil-). Muchos de estos compuestos son comunes de encontrar en edificios, por proceder de materiales y equipos, o por ser bioefluentes. Algunas de las posibles fuentes son:

COMPUESTO	FUENTE					
Tolueno	T	I	C	P	A	B
o-,m-,p-Xileno	T	I	C	P	A	
Hexano	T				A	
Metil-,etil-,trimetil-benceno	T		C			

Figura N° 5.4-Fuentes de emisión de los VOC's más comunes en el CEP

LEYENDA

T: Toners
I: Impresoras láser
C: Equipos de computación
P: Papeles especiales: papel carbón, papel de copia sin carbón
A: Emisiones de alfombras y pegamentos
B: Bioefluente

Al encontrar tal cantidad de compuestos, aún a concentraciones bajas, formando una mezcla en el aire que se respira, existe una alta probabilidad de que se produzcan efectos adversos sobre la salud, debido a la creación de sinergias negativas. De esta manera, por resultar difícil la eliminación de las fuentes de contaminación, el problema

debe ser atacado mediante la incorporación de mayores volúmenes de aire fresco hacia el interior del edificio.

Otro hallazgo importante, que se puede observar en el anexo N° 13, es que la concentración de los compuestos volátiles es mayor en los pisos inferiores, probablemente debido a la cantidad de personas que ocupan o circulan por los mismos, y al tipo de mantenimiento asociado con esta mayor densidad de ocupación.

En cuanto a los compuestos muestreados mediante los tubos Dräger, a continuación se presenta una tabla con los valores de concentración encontrados en el edificio, comparados con las concentraciones recomendadas:

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN (ppm)				
	Medición	Normal en el aire exterior	Normal en el aire interior	Posibles problemas	No exceder
Formaldehído	0,03 ± 25%	0 - 0,02	0 - 0,04	0,04 – 0,05	0,05
Monóxido de carbono	10 ± 25%	0 - 4	0 -11	11 - 50	50

Figura N° 5.5 – Tabla de concentración de formaldehído y monóxido de carbono
Adaptado de GODISH,.1995

De esta forma, la concentración de formaldehído se encuentra dentro los valores reportados como normales para espacios interiores, pero próximo al rango de posibles problemas; por su parte, las concentraciones de monóxido de carbono se encuentran entre los rangos de normalidad y de posibles problemas; sin embargo, esto puede ser no tan relevante, debido al hecho de que las mediciones fueron realizadas en los niveles de estacionamiento (en las horas pico de llegada de automóviles), en donde las personas permanecen por pequeños períodos de tiempo, probablemente algunos minutos.

2.2 CONTAMINACIÓN POR AGENTES MICROBIOLÓGICOS

Los valores de concentración microbiológica exceden, en ciertos puntos, el límite recomendado para ambientes interiores, tal como se observa en el capítulo de resultados (Figura N° 4.14). A estos datos se les realizó un tratamiento estadístico, para de esta forma obviar en el cálculo de la media a aquellos valores que resultaran atípicos.

En función de la ubicación de las diferentes tomas de aire fresco, los datos fueron estratificados en pisos 1 y 2, pisos 3 y 4, y Pent House. Una vez agrupados los datos, se realizó una prueba T-Student entre las diferentes medias, para así comprobar si corresponden a poblaciones con igual media.

MICROORGANISMOS MESÓFILOS

Como se observa en la tabla de análisis estadístico de la figura N° 5.6 , sólo un valor se comporta como atípico, que corresponde al del día 31 de Agosto en el Pent House lado Sur; siendo así omitido para el cálculo de la media.

LUGAR DE MEDICIÓN		27-Jul	03-Ago	10-Ago	17-Ago	31-Ago	14-Sep	MEDIAS
PB	NORTE	150	75	50	25	150	325	129
	SUR	450	575	700	450	######	25	440
PISO 1	NORTE	400	325	125	175	25	275	221
	SUR	275	0	125	50	75	150	113
PISO 2	NORTE	100	100	125	75	0	175	96
	SUR	75	75	125	75	325	150	138
PISO 3	NORTE	125	325	275	275	50	150	200
	SUR	75	50	1.625	200	900	325	529
PISO 4	NORTE	100	575	275	1.700	100	175	488
	SUR	100	75	150	200	100	375	167
PH	NORTE	100	175	225	575	50	150	213
	SUR	50	150	100	25	1.400	250	115

ANÁLISIS ESTADÍSTICO				
$\bar{X}$	S	Lím I	Lím S	V A
125	109	0	338	NO
440	254	0	938	NO
221	138	0	492	NO
113	96	0	300	NO
96	58	0	209	NO
138	97	0	328	NO
200	107	0	410	NO
529	620	0	1.745	NO
488	620	0	1.702	NO
167	111	0	385	NO
213	188	0	580	NO
329	531	0	1.369	SI

Nota: Todos los valores están reportados en Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico de aire (UFC/m^3). Los valores señalados en rojo exceden los límites permitidos.

Límites: 1000 UFC/m3
(Estándar recomendado por la *NIOSH*)

PRUEBA T-Student	$\bar{X}_{1y2}$ / $\bar{X}_{3y4}$	$\bar{X}_{3y4}$ / $\bar{X}_{PH}$
	0,04	0,61

DATOS PRUEBA T-Student				
PISOS	$\bar{X}$	Sg	Lím I	Lím S
1 y 2	142	22	81	202
3 y 4	346	91	92	600
PH	271	78	53	489

Figura N° 5.6 – Análisis estadístico de datos microbiológicos; organismos mesófilos

En cuanto a la prueba T-student, se tiene que al comparar los dos grupos (pisos 1 y 2 vs. 3 y 4), se obtiene una probabilidad de apenas el 4% de que éstos provengan de poblaciones con igual media. Por lo tanto, para un nivel de aceptación del 5%, se puede concluir que las fuentes de contaminación son de diferentes poblaciones o tienen medias distintas; además, los niveles de contaminación de los pisos 3 y 4 son mayores. Aunque en promedio los pisos 3 y 4 no se salgan de los límites recomendados, algunos valores puntuales si lo hacen.

El resultado de esta prueba al comparar los pisos 3 y 4, con el Pent House, no permite concluir que la diferencia entre las medias sea significativa.

MOHOS Y LEVADURAS

En este caso, el análisis es similar. Se obvió el valor del piso 3 lado sur, para el día 10 de agosto, en el cálculo de la media.

LUGAR DE MEDICIÓN		27-Jul	03-Ago	10-Ago	17-Ago	31-Ago	14-Sep	MEDIAS
PB	NORTE	540	60	200	180	160	60	200
	SUR	480	220	100	80	120	380	230
PISO 1	NORTE	460	0	120	20	160	220	163
	SUR	160	140	60	400	200	100	177
PISO 2	NORTE	120	360	20	60	100	80	123
	SUR	220	120	300	0	340	100	180
PISO 3	NORTE	120	700	320	120	380	940	430
	SUR	260	400	1.400	280	260	260	292
PISO 4	NORTE	200	600	1.700	300	140	420	560
	SUR	240	800	240	60	80	960	397
PH	NORTE	20	900	580	3.560	1.460	840	1.243
	SUR	120	240	1.460	260	480	1.620	697

ANÁLISIS ESTADÍSTICO				
$\bar{X}$	S	Lim I	Lim S	V A
200	177	0	547	NO
230	165	0	554	NO
163	168	0	492	NO
177	120	0	411	NO
123	121	0	360	NO
180	130	0	434	NO
430	329	0	1.074	NO
477	456	0	1.370	SI
560	582	0	1.701	NO
397	385	0	1.152	NO
1.243	1.273	0	3.739	NO
697	665	0	2.001	NO

Nota: Todos los valores están reportados en Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico de aire (UFC/m^3). Los valores señalados en rojo exceden los límites permitidos.

Límites: 1000 UFC/m3
(Estándar recomendado por la *NIOSH*)

PRUEBA T-Student	X_{1y2} X_{3y4}	X_{3y4} X_{PH}
	0,00	0,12

DATOS PRUEBA T-Student				
PISOS	$\bar{X}$	$S_{\bar{X}}$	Lim I	Lim S
1 y 2	161	26	88	234
3 y 4	466	86	226	706
PH	970	206	397	1.543

Figura N° 5.7 – Análisis estadístico de datos microbiológicos; mohos y levaduras

Al realizar la prueba T-student, se puede concluir que la concentración de microorganismos (mohos y levaduras) en los pisos 1 y 2, es menor que en los pisos 3 y 4 (0% de probabilidad de que las muestras provengan de poblaciones con igual media). Nuevamente, aunque los promedios de unidades formadoras de colonia por metro cúbico de aire, no exceden los valores recomendados, algunos valores si lo hacen. Entre el pent house y los pisos 3 y 4 no se puede realizar la inferencia anterior.

En las figuras 5.8 y 5.9 (ver siguiente página), se pueden observar las muestras de tiras con los cultivos microbiológicos y en ellas se pueden detallar claramente las diferencias en cuanto, a la cantidad de unidades formadoras de colonias, existentes en los dos grupos en que fueron estratificados los pisos. En el segundo grupo (Fig. 5.9) hay una mayor cantidad de unidades formadoras de colonias.

Es importante señalar, que todos estos valores de concentración microbiana (en la totalidad de los puntos) se dan a pesar de encontrar humedades relativas por debajo del 70%; por lo tanto, si la humedad llegase a aumentar, la concentración de microorganismos también lo haría.

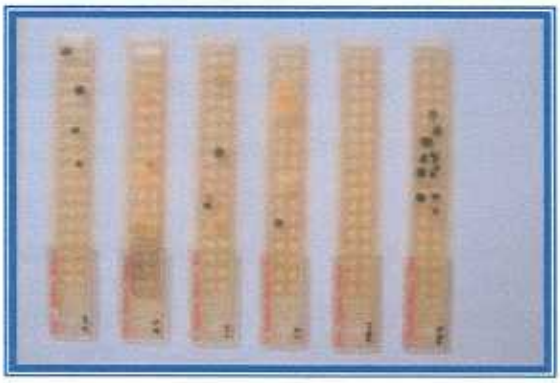


Figura 5.8 – Muestras del grupo de pisos PB, 1 y 2

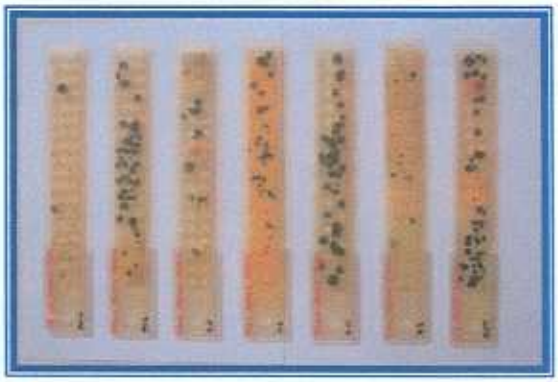


Figura 5.9 – Muestras del grupo de pisos 3, 4 y PH

2.3 MATERIAL PARTICULADO

En las siguientes gráficas (figura N° 5.10) se presenta el comportamiento a través del tiempo de muestreo, del promedio de concentraciones del material particulado en el edificio (en los diferentes tamaños), junto con el del aire exterior. Resulta interesante que el comportamiento dentro del edificio es muy similar al del aire exterior; aunque las variaciones no son proporcionales, siguen la misma tendencia, sobre todo en las partículas más grandes. De esta manera, se puede afirmar que el material particulado proviene en su mayoría del exterior.

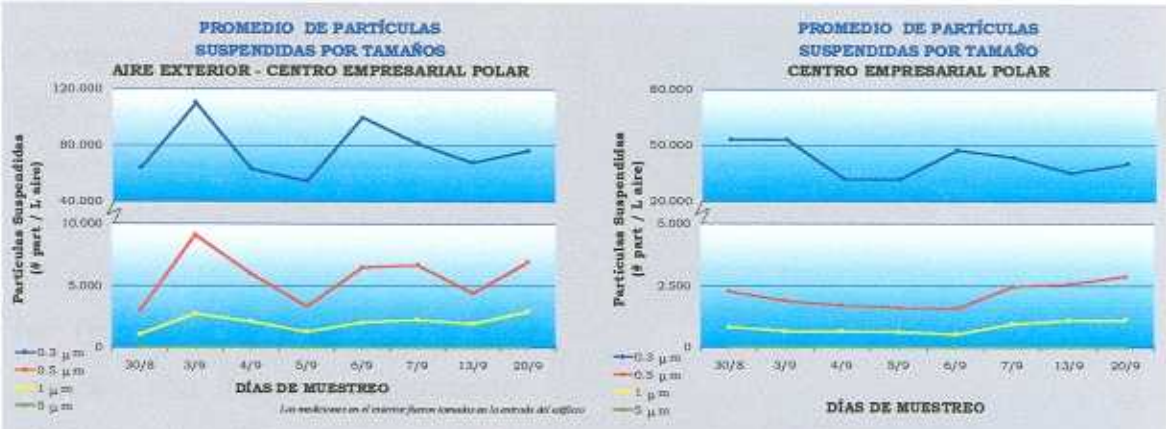


Figura N° 5.10 – Gráficos de partículas suspendidas en el aire: CEP y aire exterior

Por otra parte, resulta interesante el hecho de que más del 95% de las partículas suspendidas en el aire corresponden a las partículas más pequeñas, las cuales son las

que tienen mayor potencial de causar efectos adversos sobre la salud, debido al hecho de no poder ser "filtradas" por el sistema respiratorio. Este fenómeno es muy probable que esté sucediendo debido a la calidad y tipo de filtros utilizados en el sistema de aire acondicionado, los cuales son capaces de retener sólo las partículas más grandes. De esta forma, resulta importante tomar medidas correctivas en cuanto a este hecho, sobre todo en aquellas áreas que se ven más afectadas, es decir, donde la concentración de material particulado es mayor.

Figura N° 5.11 – Distribución de partículas por tamaños en el aire interior del CEP

En este sentido, se tiene que la concentración de material particulado es mayor en la mañana que en la tarde, y dentro del edificio el piso que exhibe la mayor concentración, es la planta baja y va disminuyendo con la altura (pisos), lo que sugiere que el material particulado proviene de la circulación del personal. En la planta baja, el ala sur (puntos 1, 9 y 10) es la que presenta una mayor concentración. Esto puede tener relación con la ubicación del edificio respecto a la planta de cerveza y la autopista (viento abajo), así como con la cantidad de personas que transitan por esta área.

Figura N° 5.12 – Gráficos de PTS: CEP y PB

3. ANÁLISIS DE INCIDENTES PREVIOS

En la siguiente tabla (figura N° 5.13) se puede observar una lista de síntomas o enfermedades asociada a tres posibles causas que las generan. Las tres primeras columnas indican si esa enfermedad o síntoma se presenta cuando hay problemas microbiológicos o químicos o de edificio enfermo. Por su parte, la última columna indica si la enfermedad o síntoma se ha presentado o se presenta en el Centro Empresarial Polar.

TABLA DE SÍNTOMAS				
ENFERMEDADES O SÍNTOMAS	CONTAMINANTES BIOLÓGICOS	VOC's	SÍNDROME DE EDIFICIO ENFERMO	CEP
Respiratorios				
Rinitis, congestión nasal	Si	Si	Si	Si
Epistaxis (hemorragia nasal)	No	Si	No	No
Faringitis, tos	Si	Si	Si	Si
Ronquera, asma	No	Si	Si	Si
Disnea (dificultad para respirar)	Si	No	Si	Si
Enfermedad severa de pulmón	No	No	Si	No
Otros				
Irritación de los ojos	Si	Si	Si	Si
Dolor de cabeza, jaqueca	Si	Si	Si	Si
Mareo, fatiga	Si	Si	Si	Si
Nausea, vómito, anorexia	Si	Si	No	No
Sarpullidos, erupciones	Si	Si	No	Si
Fiebre	Si	No	No	No
Pérdida de la audición	No	Si	No	No

Figura N° 5.13 – Tabla de síntomas vs. fuentes de contaminación

De esta manera, se observa que casi en su totalidad, los síntomas reportados son relacionados con el Síndrome del Edificio Enfermo. Además, estos síntomas son o pueden ser producto del efecto combinado de los VOC's y los contaminantes biológicos. A todo esto se le unen los efectos que pueden causar las malas condiciones de ventilación.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI

En el siguiente capítulo se presentan las conclusiones de la investigación estructuradas en función de los diferentes problemas encontrados. Cada uno de estos problemas se encuentra sustentado en los hallazgos observados o descubiertos a lo largo del proceso de recolección y análisis de información. A su vez, se exponen las correspondientes recomendaciones para la resolución de dichos problemas, así como los lugares o zonas que se ven afectados por los mismos.

Los problemas encontrados se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. El flujo de aire fresco es insuficiente.
2. La ventilación no es correctamente distribuida y existen problemas de disconfort térmico.
3. Los contaminantes entran al edificio desde el exterior.
4. El sistema de aire distribuye contaminantes.
5. El sistema de aire es una fuente de contaminantes microbiológicos.
6. Materiales, muebles y ocupantes del edificio producen contaminantes.
7. Actividades de limpieza y mantenimiento ocasionan problemas.
8. Actividades de remodelación y reparación producen problemas.

A continuación se describe cada uno de los problemas encontrados.

PROBLEMA 1 - El flujo de aire fresco es insuficiente

Zonas afectadas

- El ala sur de la planta baja.
- El piso 1 completo.
- El ala noreste del piso 3.
- El Pent House completo.

Hallazgos

- El flujo de aire fresco medido no cumple con las normas de suministro.
- Concentraciones pico de CO_2 sobrepasan los 1000 ppm, lo cual indica ventilación inadecuada.
- El personal, realizando actividades normales de oficina, reporta problemas como dolores de cabeza, fatiga, decaimiento.

Soluciones

- Abrir o reparar el sistema de distribución de aire (entradas de aire fresco, dampers, rejillas de suministro).
- Incrementar la cantidad de aire fresco junto con la capacidad de refrigeración de la unidad de manejo de aire.
- Reducir los contaminantes y la carga térmica del edificio, con una buena distribución de los ocupantes dentro del edificio. Por ejemplo, aprovechar la baja densidad de ocupación del piso 3.
- Diseñar e instalar un sistema de ventilación actualizado a las condiciones del edificio. Disponer de un sistema de enfriamiento central, resultaría mucho más eficiente dada las características de ocupación y tamaño del edificio.

Damper para regular la entrada de aire fresco fuera de funcionamiento

Un ducto de retorno donde existía una entrada de aire fresco que fue eliminada.

PROBLEMA 2 - La ventilación no es correctamente distribuida y existen problemas de disconfort térmico

Zonas afectadas

- Los pisos 2, 3 y 4 (temperatura promedio debajo de los estandares).
- La fachada Oeste de todos de los pisos (incidencia del calor radiante).
- La cocina, en la planta baja.

Hallazgos

- La temperatura absoluta promedio de algunos pisos se encuentra por debajo de los rangos de confort térmico.
- A pesar de esto, existen zonas donde el calor, olores y actividades normales de oficina ocasionan problemas.

Soluciones

- Abrir, ajustar o reparar el sistema de distribución de aire (rejillas de retorno y suministro).
- Asegurar una adecuada distribución de la ventilación, balanceando la unidad de manejo de aire o reubicando las rejillas de suministro y retorno para mejorar la distribución del aire.
- Utilizar materiales que disminuyan la cantidad de calor radiante debido a la exposición solar. Se puede utilizar "papel ahumado".
- En la cocina, es necesario diseñar e instalar un apropiado sistema de ventilación.

PROBLEMA 3 - Los contaminantes entran al edificio desde el exterior

Hallazgos

- Contaminantes provenientes de actividades en los alrededores (material particulado y agentes microbiológicos).

Soluciones

- Reubicar los elementos del sistema que contribuyan a la entrada de contaminantes exteriores. Las tomas de aire fresco de las unidades ubicadas en la azotea, deben ser redireccionadas hacia lugares que garanticen la toma de aire "fresco".
  Las tomas de aire fresco de los pisos 1 y 2 deben ser reubicadas hacia otra fachada del edificio, por ejemplo la fachada oeste.
- Agregar equipos especiales al sistema para filtrar los contaminantes; por ejemplo filtros de una mayor eficiencia.

Lugares donde deben ser aplicadas las soluciones

- Tomas de aire fresco de las diferentes unidades de aire acondicionado

El humo de las chimeneas, y la descarga de cebada se encuentran viento arriba del edificio.

Las tomas de aire fresco de la fachada sur se encuentran viento abajo de la autopista y la planta de cerveza

PROBLEMA 4 - El sistema de aire es una fuente de contaminantes microbiológicos

Hallazgos

- Las superficies del sistema y alrededores están contaminadas por mohos.
- La carga microbiológica en ocasiones supera los límites recomendados.

Acumulación de humedad y moho visible en frente de las tomas de aire fresco.

Soluciones

- Remover las fuentes de contaminación en las superficies del sistema, mejorando las rutinas de mantenimiento, inspeccionando los equipos y reemplazando las partes que presenten corrosión.
- Limpiar las zonas en los alrededores de las tomas de aire fresco ubicadas en la azotea, con desinfectantes especiales.
- Limpiar o purificar los ductos de distribución del aire, utilizando por ejemplo lámparas de luz ultravioleta.
- Reubicar las tomas de aire fresco, de manera que estas no contribuyan a la entrada de contaminantes desde el exterior.

Entradas de aire fresco mal ubicadas, sucio y humedad en sus alrededores.

Lugares donde deben ser aplicadas las soluciones

- Las tomas de aire fresco ubicadas en la azotea.
- Todo el sistema de aire acondicionado, en general.

PROBLEMA 5 - El sistema de aire distribuye contaminantes

Hallazgos

- Aire sin ser filtrado entra al sistema de aire, ya que las unidades de manejo de aire operan sin filtros, o los filtros están demasiado sucios por falta de mantenimiento.
- Hay recirculación de aire que contiene polvo u otros contaminantes, y muchos de estos son generados en el interior del edificio.

Una unidad de manejo de aire operando sin filtros

Soluciones

- Ponerle a las unidades los filtros adecuados y cambiarlos o limpiarlos con la debida frecuencia, para que cumplan su función de mantener el aire libre de impurezas.
- Sellar cualquier abertura indeseada que se encuentre en el sistema de retorno.
- Incrementar la cantidad de aire fresco que entra al edificio.

Los filtros de la unidad de la foto anterior apilados a un lado

Lugares donde deben ser aplicadas las soluciones

- Unidades de manejo de aire de Planta Baja. Cuidar de que en las demás UMA's no suceda lo mismo.

PROBLEMA 6 - Materiales, muebles y ocupantes del edificio producen contaminantes

Hallazgos

- Nuevas alfombras instaladas, muebles, equipos, pintura de paredes y techos, son fuentes de contaminación química.
- Los ocupantes del edificio generan sustancias (bioefluentes), que no son debidamente removidas por el sistema de ventilación

Vista amplia de uno de los espacios de oficinas

Soluciones

- Remover la fuente con apropiados métodos de limpieza.
- Incrementar la cantidad de aire fresco que entra al edificio.
- Abrir las ventanas durante los fines de semana.

Conjunto de copiadoras e impresoras

Lugares donde deben ser aplicadas las soluciones

- Todo el edificio en general.

PROBLEMA 7 - Actividades de limpieza y mantenimiento contribuyen a los problemas

Hallazgos

- Los productos de limpieza emiten sustancias y olores, y además no son almacenados en lugares apropiados.
- Las actividades de mantenimiento y limpieza, no son realizadas con los debidos cuidados y precauciones.

Pegamentos, aceites, solventes y cables guardados dentro de una unidad de aire

Soluciones

- Reducir las fuentes de contaminación, seleccionando productos de limpieza que no emitan contaminantes.
- Almacenar los productos de limpieza en lugares que tengan un sistema de extracción adecuado.
- Replantear los planes de limpieza y adecuarlos a los requerimientos del edificio, haciendo los trabajos en momentos que el edificio no se encuentre ocupado; por ejemplo, los fines de semana, manteniendo el sistema de AA funcionando, junto con las ventanas abiertas, para facilitar la ventilación de las emisiones y plafones.

Dispensadores de productos de limpieza en frente de una unidad sin filtros.

Lugares donde deben ser aplicadas las soluciones

- Todo el edificio en general.

PROBLEMA 8 - Actividades de remodelación y reparación producen problemas

Hallazgos

- Actividades temporales producen olores y contaminantes. Por ejemplo la instalación de nueva tabiquerías, alfombras, techos, paredes, demoliciones, soldadura y pintura.
- El sistema de ventilación existente no provee adecuada ventilación para la nueva ocupación.

Trabajador haciendo actividades de soldadura, cerca de las tomas de aire fresco en la azotea, sin tomar las precauciones para evitar que los vapores entren al sistema de aire acondicionado

Soluciones

- Modificar el sistema de ventilación para prevenir la recirculación de contaminantes, colocando extractores temporales o tapando las rejillas de retorno en las zonas donde se está haciendo el trabajo.
- Planificar los trabajos para los períodos cuando el edificio no está ocupado y mantener el sistema de ventilación funcionando para remover los olores y contaminantes.

Construcciones y remodelaciones en la azotea, cercanas a las tomas de aire fresco de los aparatos de aire

Lugares donde deben ser aplicadas las soluciones

- En todos los lugares y espacios de edificio, que se esté haciendo una actividad de mantenimiento que pudiera causar problemas en la calidad del aire.

Para concluir, se tiene que en el edificio Centro Empresarial Polar, construido en los años 70's para industria liviana con ventilación natural, los cambios de utilización y el aumento en la densidad ocupacional no han sido equilibrados con los cambios en la infraestructura, por ser ésta más rígida. Además, cada uno de los pisos que conforman este edificio, exhibe características diferentes en cuanto al nivel de ocupación, a su utilización, a los materiales y equipos que lo conforman, y en consecuencia al tipo de problemas de calidad de aire interior que cada uno presenta.

Problemas de ventilación, contaminación química, microbiológica y de material particulado son encontrados en diferente magnitud, en los distintos pisos, siendo necesario realizar las correcciones y modificaciones correspondientes, en los pisos y zonas indicadas. De esta forma, se puede afirmar que existen problemas de calidad del aire en este edificio, presentando una serie de características propias del llamado "Síndrome del Edificio Enfermo".

Por último, es importante concientizar a los encargados o administradores de edificios de que la calidad del aire interior es un factor que afecta a todos los ocupantes del mismo y en consecuencia, pueden derivarse efectos adversos para la salud y para el rendimiento, a causa de las deficiencias en la calidad del aire que se respira y en las condiciones de confortabilidad de los locales de ocupación, tanto residenciales como de trabajo.

A nadie se le ocurre hoy día beber un agua que no sea potable; ¿por qué hemos entonces, de vernos obligados continuamente a respirar aire "no potable", contaminado con patógenos al entrar a un hospital, un edificio con aire acondicionado, un avión, un restaurante o un laboratorio?.

"Los edificios no nacen enfermos. Ellos se enferman, y la gran mayoría de ellos son propicios a enfermarse desde su diseño. Y si no se cuidan se enferman, y enferman a todos los que están dentro."

Felipe Odehnal

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

ARMENANTE, Piero M.
1991 **Contingency Planning for Industrial Emergencies**. New York, NY. Van Nostrand Reinhold.

ASFAHL, C. Ray.
2000 **Seguridad Industrial y Salud.** 4a edición. México. Prentice-Hall Hispanoamericana. (Trabajo original publicado en 1999).

BARRIOS, Maritza.
1998 **Manual de trabajos de especialización, maestría y tesis doctorales**. Caracas. Fedupel.

CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY.
1965 **Handbook of Air Conditioning System Design**. Mc. Graw-Hill Book Company. New York, NY.

DAGNINO, Maruja.
2000 **Los edificios también se enferman,** Entrevista a Felipe Odehnal. El Universal. Caracas, Venezuela.

GODISH, Thad.
1995 **Sick Buildings: Definition, Diagnosis and Mitigation**. Boca Ratón, FL. Lewis Publishers.

HEUMAN, William
1997 **Industrial Air Pollution Control Systems.** Mc Graw Hill. New York, USA.

LIDE, David R.
1995 **Handbook of Chemistry and Physics.** 76ta edición. USA. CRC Press.

OSBOME, W. C.; Tumer, C. G.
1970 **Guía Práctica de la Ventilación**. España. Editorial Blume.

PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A.
1996 **Índice de leyes, regulaciones, y normas de ambiente, higiene y seguridad industrial.**

REVISTA GERENTE
2000 **¿Su oficina lo está matando?**. Caracas, Venezuela.

SKOOG, Douglas; LEARY, James.
1994 **Análisis Instrumental.** Mc Graw-Hill, Cuarta Edición. España.

TESTO PORTABLE MEASURING INSTRUMENTS
2001 **Testo Catalog Product.** Lenzkirch, Germany.

TORTORA, Gerard; FUNKE, Berdell; CASE, Christine.
1992 **Microbiology an Introduction.** Fourth Edition, The Benjaming/Cummings Publishing Company, inc. Redwood City, California, USA.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA); NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. (NIOSH).
1991 **Building Air Quality.**

VESILIND, AARNE; Pierce, Jeffrey; WEINER, Ruth.
1988 **Environmental Engineering.** Butterworth Publishers, Stoneham, MA, USA.

WADDEN, R.; Scheff, P.
1987 **Engineering Design for the Control of Workplace Hazards**. New York, NY. McGraw-Hill Book Company.

WALSH, Phillip J.; Dudney, Charles S.; Copenhaver, Emily D.
1984 **Indoor Air Quality**. Boca Raton, FL. CRC Press.

WARK, Kenneth; WARNER, Cecil.
2000 **Contaminación del Aire.** Limusa Noriega Editores, México.

WILKIE, Harrigan.
1998 **Laboratory Methods in Food Microbiology.** Academic Press, Third Edition. San Diego, California, USA.

DIRECCIONES DE INTERNET

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS.
2001 **www.acgih.org**

AMERICAN LUNG ASOCIATION.
2001 **www.lungusa.org**

EL UNIVERSAL DIGITAL
2001 **www.eud.com**

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH.
2001 **www.niosh.org**

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.
2001 **www.epa.gov**

GLOSARIO

GLOSARIO

Adsorción: Penetración superficial de un gas o de un líquido en un sólido.

Autoclave: Recipiente de paredes gruesas y cierre hermético para realizar bajo presión una reacción industrial o la cocción o esterilización al vapor.

Aerosol: Suspensión en el aire un producto finamente vaporizado.

Aire acondicionado: aire que ha sido calentado, enfriado, humidificado o deshumidificado para mantener un espacio interior dentro de un rango confortable.

CAI: Calidad del Aire Interior.

CFM: Cubic Feet per Minute (Pies cúbicos por minuto).

CO: Monóxido de carbono.

CO_2: Dióxido de carbono.

Compuestos Indicadores: Compuestos químicos, como dióxido de carbono, cuya presencia a ciertas concentraciones puede ser utilizada para estimar condiciones del edificio.

Contaminantes Biológicos: Agentes que son organismos vivientes (Ej. virus, bacterias, hongos, mohos, etc.) que pueden ser inhalados y pueden causar muchos efectos a la salud incluyendo reacciones alérgicas, dificultades respiratorias, reacciones hipersensitivas y enfermedades infecciosas.

Dampers: Controles que varían el flujo de aire a través de una salida, entrada o ducto de aire. La posición de un damper puede ser fija, ajustable manualmente o parte de un sistema de control automatizado.

Desorción: Proceso mediante el cual se lleva a cabo la separación superficial de un gas o un líquido de un sólido.

Diámetro de Masa Media Aerodinámico: Diámetro alrededor del cual la masa de las partículas está igualmente distribuida.

Enfermedades Hipersentitivas: Enfermedades caracterizadas por respuestas alérgicas a antígenos animales. Las enfermedades más asociadas a problemas de calidad de aire interior son asma, rinitis y neumonitis hipersensitiva, la cual es una rara pero seria

enfermedad que causa un progresivo daño a los pulmones mientras se mantenga a la exposición de agente causante.

Envolvente del Edificio: Elementos del edificio, incluyendo todos los materiales externos, ventanas y paredes que rodean el espacio interno.

EPA: United States Environmental Protection Agency.

Ergonomía: Ciencia destinada a investigar el impacto físico de las personas en su ambiente de salud y confort.

HVAC: Heating Ventilation and Air Conditioning (Equipos de calafacción y aire acondicionado).

HR: Humedad Relativa.

MCS: Multiple Chemicals Sensitivity (Enfermedad).

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health.

OSHA: Occupational Safety and Health Administration.

Partículas Respirables: Partículas con un diámetro inferior a 5μm.

Plafón-Plenum: Espacio debajo del piso y arriba del cielo raso donde se acomodan los equipos eléctricos y mecánicos que son utilizados como parte del sistema de distribución de aire. Este espacio se mantiene bajo presión negativa, ya que a veces se utiliza como retorno.

Plenum: Compartimiento de aire conectado a un ducto o ductos.

Presión Estática: Condición que existe cuando las cantidades de aire que se suministran y que se extraen de un espacio son iguales. A presión estática el equilibrio puede ser alcanzado.

Presión Negativa: Condición que existe en un espacio cuando el aire que se le suministra es menor al que sale, por tanto la presión del aire en ese espacio es menor a la que hay en los espacios alrededores.

Presión Positiva: Condición que existe en un espacio cuando el aire que se le suministra es mayor al que sale, por tanto la presión del aire en ese espacio es mayor a la que hay en los espacios alrededores.

PTS: Partículas Totales Suspendidas.

Rejillas y Difusores: Componentes del sistema de ventilación que distribuyen y esparcen el aire para promover la circulación del mismo en los espacios ocupados. Los difusores suministran aire y las rejillas lo retornan al sistema.

SEE: Síndrome del edificio enfermo.

Ventilación: Proceso de aportar aire fresco o extraerlo de cualquier espacio por medios naturales o mecánicos.

VOC: Volatile Organic Compounds (Compuestos orgánicos volátiles).