

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN EL EDIFICIO
DE UNA BIBLIOTECA UNIVERSITARIA.**
**Caso: Biblioteca “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo
Anzoátegui.**

Presentado por:

Antonio Abdon Rojas González

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito Parcial
para Optar al Título de

INGENIERO MECANICO

BARCELONA OCTUBRE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN EL EDIFICIO
DE UNA BIBLIOTECA UNIVERSITARIA.**
**Caso: Biblioteca “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo
Anzoátegui.**

Asesor Académico

Prof. Edgar Rodríguez

BARCELONA OCTUBRE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN EL EDIFICIO
DE UNA BIBLIOTECA UNIVERSITARIA.**

**Caso: Biblioteca “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo
Anzoátegui.**

Jurado calificador

Prof. Edgar Rodríguez

Prof. Simón Bittar

Prof. Yordy González

BARCELONA OCTUBRE 2009

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajo de grado de la Universidad de Oriente:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados para fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo quien lo participará al Consejo Universitario”.

RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar la calidad del aire de la Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui, y su objetivo principal es Proponer estrategias que permitan la reducción de la concentración de los gases contaminantes (COVs), en el interior de la Biblioteca anteriormente mencionada. Para realizar la evaluación, se utilizaron dos equipos sofisticados de medición, el Detector Multigas Sirius de la MSA Instrument Division y el Datalogger DO2003 Marca Delta OHM, el primero capaz de medir compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en el interior de la edificación, y el segundo mediante una sonda de hilo caliente utilizado para medir los parámetros de confort térmico del recinto en estudio. Para la evaluación, se determinó una zona crítica representativa de la condición de contaminación de toda la biblioteca, y a la cual se le realizó un estudio detallado en donde se analizaron las principales variables que definen la calidad del aire de un ambiente cerrado, las cuales son: Temperatura, Humedad Relativa, Concentración de contaminantes, Velocidad del aire y recirculación del aire. La medición de dichas variables se realizó ubicando puntos longitudinales y transversales de muestreo a lo largo del ducto de suministro de aire de la zona crítica mencionada. Entre los resultados más resaltantes se puede destacar que la concentración del COVs evaluado no sobrepasó el límite permisible establecido, no obstante, está al alcance de los usuarios la percepción del efecto nocivo que el mismo causa en ellos, sin embargo, se proponen algunas estrategias que permitan disminuir la concentración de contaminantes en el ambiente estudiado.

DEDICATORIA

A mi Dios todo poderoso

A mi Madre

A mi Padre

A mi Hermana

A mis Sobrinos

A mi Familia

A ti Gazelith

A mis Amigos

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios. Que siempre me acompaña, me guía por el camino del bien y me llena de fuerzas para enfrentar cada día.

A mi querida Madre, por ser GRAN ejemplo para mí, por ser mi mejor amiga, padre y mi madre a la vez, por estar conmigo en las buenas y en las malas, eres la razón de mi existir, y para ti esta tesis madre. Te AMO.

A mi hermana Ana Paula y su familia, por apoyarme y estar allí cuando los necesité, tendiendo su mano sin esperar nada a cambio. Y a mis sobrinos por ser fuente de inspiración.

A mi familia, por compartir conmigo tantos bellos momentos, por enseñarme tantas cosas buenas, y por estar conmigo siempre demostrando que somos un gran equipo.

A mis hermanos! Miguel Ángel, Simon Bittar, Pedro Miguel, Franco Dimartino ustedes significan mucho para mi LOS QUIERO, a los amigos que encontré en la Universidad: Juvenal Canales y Luis Ochoa, ustedes principalmente, los quiero demasiado hermanos y sin ustedes no hubiese logrado esto jamás los olvidaré, también a Francisco, Luis Daniel, José Félix, Javier, con los cuales compartí durante toda la carrera gracias muchachos. A mis amigos Omar y Ricardo a quienes siempre tengo presentes. A mis amigos de la música: Chego y Luis, que siempre están pendientes de mi y de mis logros gracias a todos!.

A la Profesora Oly Guerra por su GRAN ayuda y aporte a esta tesis, sin usted profe nada de esto fuera posible, gracias por tanta ayuda desinteresada, Dios la

bendiga. A Simon Bittar quien fue mi mentor durante toda la carrera, el mejor profesor que he tenido, y mi Amigo gracias por enseñarme tantas cosas valiosas, a mi profesor Edgar Rodríguez por su gran aporte a y excelente tutoría para realizar esta tesis GRACIAS A TODOS!

A ti mi Gaz, gracias por estar a mi lado en las buenas y malas, por compartir conmigo tantos momentos especiales. Por aprender conmigo, eres mi compañera, mi novia y mi amiga, gracias a Dios por cruzarte en mi camino y a ti por existir. Te amo.

A la Familia El Halabi, especialmente a la señora Chabela, por brindarme su hospitalidad, y darme tanto cariño, la quiero mucho. A Gazi por su ayuda desinteresada y su amistad. Los quiero!.

ÍNDICE

| | |
|---|-------|
| RESOLUCIÓN | iv |
| RESUMEN..... | v |
| DEDICATORIA | vi |
| AGRADECIMIENTOS | vii |
| ÍNDICE | ix |
| LISTA DE TABLAS | xiv |
| LISTA DE FIGURAS..... | xix |
| NOMENCLATURA | xxii |
| INTRODUCCIÓN | xxiii |
| CAPITULO I..... | 26 |
| EL PROBLEMA..... | 26 |
| 1.1 Reseña de la biblioteca “Dr. Luis García Pellissier” | 26 |
| 1.1.1 Visión..... | 27 |
| 1.1.2 Misión | 27 |
| 1.1.3. Funciones | 28 |
| 1.1.4. Estructura organizativa de la biblioteca “Dr. Luis García Pelissier” | 28 |
| 1.2 Antecedentes del problema | 29 |
| 1.3 Planteamiento y formulación del problema | 29 |
| 1.4 Objetivos de la investigación | 31 |
| 1.4.1 General..... | 31 |
| 1.4.2 Específicos | 31 |
| 1.5 Justificación e importancia de la investigación..... | 32 |
| 1.6. Limitaciones de la investigación..... | 34 |
| CAPITULO II | 35 |
| MARCO TEÓRICO..... | 35 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 35 |

| | |
|--|----|
| 2.2. BASES TEÓRICAS..... | 37 |
| 2.2.1. Factores que afectan a la calidad del aire en los ambientes cerrados..... | 37 |
| 2.2.1.1. Una ventilación inadecuada | 37 |
| 2.2.1.2. La contaminación interior | 37 |
| 2.2.2.3. La contaminación exterior | 38 |
| 2.2.2.4. La contaminación biológica | 38 |
| 2.2.2.5. La contaminación debida a materiales empleados en la construcción:..... | 38 |
| 2.2.3. Métodos de control de la calidad del aire..... | 38 |
| 2.2.4. Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) | 40 |
| 2.2.5. Tipos de contaminantes de ambientes interiores y sus fuentes emisión | 41 |
| 2.2.5.1. Contaminantes químicos | 42 |
| 2.2.5.2. Contaminantes biológicos | 47 |
| 2.2.6. Técnicas de eliminación de COVs | 50 |
| 2.2.6.1. Técnicas de control | 51 |
| 2.2.7. Factores a considerar para la selección de las técnicas de eliminación de Compuestos Orgánicos Volátiles | 55 |
| 2.2.8. Efectos sobre la salud relacionados con el aire del interior de un edificio | 56 |
| 2.2.9. Confort térmico y Ventilación | 57 |
| 2.2.10. Guías y concentraciones promedio permitidas | 58 |
| 2.3. Definición de términos..... | 60 |
| 2.4. Bases legales | 63 |
| CAPITULO III..... | 66 |
| DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 66 |
| 3.1 Tipo y diseño de la investigación..... | 66 |
| 3.2 Alcance de la investigación..... | 67 |
| 3.3. Población y muestra | 68 |
| 3.3.1. Equipos..... | 68 |
| 3.3.2. Personas | 68 |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| 3.5 Técnicas de análisis de datos | 71 |
| 3.6 Etapas de la investigación | 73 |
| 3.6.1 Revisión bibliográfica | 73 |
| 3.6.2 Diagnóstico del Índice de la Concentración(S) de los Gases Presentes en el Ambiente a Estudiar | 73 |
| 3.6.2.1 Descripción general del edificio (Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui) | 74 |
| 3.6.2.2. Realización de encuestas..... | 77 |
| 3.6.2.3. Identificación del gas a medir | 78 |
| 3.6.2.4. Instrumento de medición..... | 95 |
| 3.6.2.5. Determinación de la ubicación y número mínimo de puntos de muestreo .. | 102 |
| 3.6.2.6. Selección del método de medición, y cantidad de mediciones por cada punto de muestreo | 106 |
| 3.6.2.7. Determinación del área crítica en cuanto a contaminación de Acetato de Vinilo se refiere..... | 110 |
| 3.6.3. Diseño del Procedimiento Sistemático para la Toma de Datos Experimentales en la Zona Crítica | 111 |
| 3.6.3.1. Concentración del COVs Acetato de Vinilo (C ₄ H ₆ O ₂) | 114 |
| 3.6.3.2. Medición de parámetros de confort (temperatura, humedad, velocidad y caudal del aire) | 121 |
| 3.6.4. Medición de la Concentración del Acetato de Vinilo y los Parámetros de Confort en la Zona Crítica..... | 138 |
| 3.6.4.1 Ciclos de medición..... | 138 |
| 3.6.4.2. Formatos de medición | 142 |
| 3.6.4.3. Generalidades de medición | 145 |
| 3.6.5. Establecimiento de los Límites Permisibles..... | 146 |
| 3.6.6. Comparación De Los Valores Obtenidos Experimentalmente Mediante las Mediciones con los Valores Permisibles Enunciados en las Normas Correspondientes | 146 |

| | |
|--|-----|
| 3.6.7. Evaluación de la Calidad del Aire Mediante el Monitoreo de la Concentración de los Gases Contaminantes en el Ambiente Interior de la Biblioteca en Estudio ... | 149 |
| 3.6.7.1 Especificaciones técnicas de los equipos de acondicionamiento de aire de la zona crítica | 149 |
| 3.6.7.2 Características y forma de instalación de los equipos de aire acondicionado | 150 |
| 3.6.7.3 Horarios de funcionamiento y régimen de uso de los equipos de aire acondicionado en la zona crítica | 152 |
| 3.6.7.4 Contexto operacional de los equipos de aire acondicionado de la zona crítica | 153 |
| 3.6.7.5 Fallas, molestias o problemas detectados en los equipos..... | 154 |
| 3.6.7.6 Programas de mantenimiento preventivo realizados a los equipos de aire de la zona crítica | 156 |
| 3.6.7.7 Verificación de posibles recirculaciones y fallas en la renovación de aire fresco | 158 |
| 3.6.7.8 Presencia de gases contaminantes..... | 161 |
| 3.6.7.9 Medición de temperatura y humedad como principales factores de la Calidad del Aire..... | 162 |
| CAPITULO IV | 165 |
| ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS | 165 |
| 4.1. Diagnostico del índice de la concentración del acetato de vinilo en la zona crítica de la biblioteca” Dr. Luis garcía Pellisier” de la universidad de oriente núcleo Anzoátegui | 165 |
| 4.1.1. Resultados de las encuestas realizadas..... | 165 |
| 4.1.2. Identificación del gas a medir | 176 |
| 4.2. Medición de los parámetros de confort y concentración del covs contaminante tomando en cuenta la norma COVENIN 3513: 1999. | 182 |
| 4.2.1. Temperatura medida en cada punto longitudinal de muestreo..... | 193 |
| 4.2.2. Velocidad medida en cada punto longitudinal de muestreo..... | 194 |

| | |
|--|--------------------------------------|
| 4.2.3. Caudal medido en cada punto longitudinal de muestreo | 195 |
| 4.2.4. Concentración de C ₄ H ₆ O ₂ en cada punto longitudinal de muestreo..... | 196 |
| 4.2.5. Porcentaje de Humedad relativa medio en cada punto longitudinal de muestreo | 197 |
| 4.2.6. Valores de Temperatura de la zona crítica en estudio..... | 198 |
| 4.3. Establecimiento de los límites permisibles para los valores de medición obtenidos tomando en cuenta lo recomendado por la norma covenin 2253: 2001 .. | 199 |
| 4.4. Comparación de los valores obtenidos mediante las mediciones con los valores permisibles según la norma antes mencionada. | 200 |
| 4.5. Evaluar la calidad del aire mediante el monitoreo de la concentración de los gases contaminantes en el ambiente interior estudiado..... | 202 |
| CAPITULO V | 205 |
| PROPUESTA DE TECNICAS PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN LA BIBLIOTECA EN ESTUDIO | 205 |
| 5.1. Técnicas de ventilación | 205 |
| 5.2. Control de las fuentes de contaminación | 207 |
| 5.3. Utilización de membranas zeolíticas..... | 209 |
| 5.4. Inyección de aire fresco a la zona crítica | 211 |
| 5.5. Técnica recomendada para la solución al problema de la contaminación interior | 212 |
| CAPITULO VI..... | 214 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 214 |
| 6.1. Conclusiones | 214 |
| 6.2. Recomendaciones..... | 216 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 217 |
| ANEXOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO..... | 220 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1. Compuestos Orgánicos Volátiles más comunes en ambientes cerrados... | 41 |
| Tabla 2.3. Contaminantes biológicos característicos y enfermedades de mayor incidencia. | 49 |
| Tabla 2.3. Contaminantes biológicos característicos y enfermedades de mayor incidencia. | 50 |
| Tabla 2.4. Condiciones establecidas por la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. | 59 |
| Tabla 3.1. Numero de usuarios encuestados | 78 |
| Tabla 3.2. Algunos gases que un Detector PID puede medir..... | 79 |
| Tabla 3.3. Gases que un Detector PID no puede medir | 80 |
| Tabla 3.4. Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y tasas de emisión asociadas a los diversos recubrimientos y revestimientos de suelos y paredes. | 82 |
| Tabla 3.4. Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y tasas de emisión asociadas a los diversos recubrimientos y revestimientos de suelos y paredes. (Continuación) | 83 |
| Tabla 3.5. Principales contaminantes químicos del aire interior y sus concentraciones. | 85 |
| Tabla 3.6. Cantidad de equipos eléctricos que se encuentran en la Biblioteca estudiada..... | 87 |
| Tabla 3.7. Concentraciones ambientales permisibles (CAP) y los límites de exposición breve (LEB) de sustancias químicas comúnmente encontradas en ambientes interiores, según la norma COVENIN 2253: 2001..... | 89 |
| Tabla 3.8. Concentraciones aconsejadas para algunos contaminantes frecuentes en ambientes cerrados | 90 |
| Tabla 3.9. Valores nominales de eV de algunas sustancias comunes..... | 91 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 3.10. Valores nominales de eV de algunas sustancias comunes para la lámpara 9.8 eV | 92 |
| Tabla 3.11. Valores nominales de eV, algunas sustancias comunes para la lámpara 10.6 eV | 92 |
| Tabla 3.12. Especificaciones técnicas del Detector Multigas Sirius..... | 100 |
| Tabla 3.13. Metodología para la toma de muestras, utilizada en el presente proyecto | 107 |
| Tabla 3.14. Métodos utilizados para el análisis de contaminantes químicos..... | 108 |
| Tabla 3.15 Horas de recolección de datos (índice de concentraciones de gases COVs). | 109 |
| Tabla 3.16. Índice de concentraciones obtenido para cada área de estudio | 110 |
| Tabla 3.17. Datos Técnicos Del Datalogger DO2003..... | 129 |
| Tabla 3.17. Datos Técnicos Del Datalogger DO2003. (continuación) | 130 |
| Tabla 3.18. Datos Técnicos de la sonda AP471 S1..... | 134 |
| Tabla 3.19. Cronograma para la medición de temperatura, velocidad y caudal del aire de la zona crítica para el Punto de muestreo longitudinal 1 | 139 |
| (rejilla de suministro 1). | 139 |
| Tabla 3.20. Cronograma para la medición de temperatura, velocidad y caudal del aire de la zona crítica para el Punto de muestreo longitudinal 2 (rejilla de suministro 2). | 139 |
| Tabla 3.21. Cronograma para la medición de temperatura, velocidad y caudal del aire de la zona crítica para el Punto de muestreo longitudinal 3 (rejilla de suministro 3). | 139 |
| Tabla 3.22. Cronograma para la medición de temperatura, velocidad y caudal del aire de la zona crítica para el Punto de muestreo longitudinal 4 (rejilla de suministro 4). | 140 |
| Tabla 3.23. Cronograma para la medición de concentración en la zona crítica Punto de muestreo 1. | 141 |
| Tabla 3.24. Cronograma para la medición de concentración en la zona crítica..... | 141 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 3.25. Cronograma para la medición de concentración en la zona crítica..... | 141 |
| Tabla 3.26. Cronograma para la medición de concentración en la zona crítica..... | 142 |
| Tabla 3.27. Formato para la recolección de datos del ciclo 1 y 2 (puntos de muestreo longitudinales 1 y 2)..... | 143 |
| Tabla 3.28. Comparación de los valores de concentración arrojados por las mediciones y los límites permisibles planteados por la norma COVENIN 2253-2001 | 148 |
| Tabla 3.29. Especificaciones Técnicas del equipo de acondicionamiento de aire de la zona crítica | 149 |
| Tabla 3.30. Distribución de puntos de muestreo en chimeneas o ductos de sección transversal rectangular. | 160 |
| Tabla 4.1. Selección de gas a medir tomando en cuenta los siguientes factores. | 176 |
| Tabla 4.2. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles -1.95 y $+0.15$ de la Biblioteca en estudio, correspondiente al primer día de medición. | 177 |
| Tabla 4.3. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 2.25 y 4.35 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al primer día de medición..... | 177 |
| Tabla 4.4. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 6.45 y 7.40 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al primer día de medición..... | 178 |
| Tabla 4.5. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles -1.95 y $+0.15$ de la Biblioteca en estudio, correspondiente al segundo día de medición. | 178 |
| Tabla 4.6. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 2.25 y 4.35 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al segundo día de medición..... | 178 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 4.7. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 6.45 y 7.40 de la biblioteca en estudio, correspondiente al segundo día de medición..... | 179 |
| Tabla 4.8. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles -1.95 y $+0.15$ de la Biblioteca en estudio, correspondiente al tercer día de medición..... | 179 |
| Tabla 4.9. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 2.25 y 4.35 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al tercer día de medición..... | 179 |
| Tabla 4.10. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 6.45 y 7.40 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al tercer día de medición..... | 180 |
| Tabla 4.11. Índice de la concentración del Acetato de Vinilo para cada área de estudio perteneciente a los niveles -1.95 y $+0.15$ | 181 |
| Tabla 4.12. Índice de la concentración del Acetato de Vinilo para cada área de estudio perteneciente a los niveles 2.25 y 4.35..... | 181 |
| Tabla 4.13. Índice de la concentración del Acetato de Vinilo para cada área de estudio perteneciente a los niveles 6.45 y 7.40..... | 181 |
| Tabla 4.14. Índice de concentraciones para cada área de estudio..... | 181 |
| Tabla 4.15. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 1 (punto de muestreo longitudinal 1) hora: 9:00am: | 183 |
| Tabla 4.16. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 1 (punto de muestreo longitudinal 1) hora: 4:00pm: | 184 |
| Tabla 4.17. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 2 (punto de muestreo longitudinal 2) hora: 9:00 am: | 185 |
| Tabla 4.18. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 2 (punto de muestreo longitudinal 2) hora: 4:00 pm: | 186 |
| Tabla 4.19. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 3 (punto de muestreo longitudinal 3) hora: 9:00 am: | 187 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.20. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 3 (punto de muestreo longitudinal 3) hora: 4:00 pm: | 188 |
| Tabla 4.21. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 4 (punto de muestreo longitudinal 4) hora: 9:00 am: | 189 |
| Tabla 4.22. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 4 (punto de muestreo longitudinal 4) hora: 4:00 pm: | 190 |
| Tabla 4.23. Resultados de la humedad relativa y concentración de $C_4H_6O_2$. Hora de estudio: 9:00 am: | 191 |
| Tabla 4.24. Resultados de la humedad relativa y concentración de $C_4H_6O_2$. Hora de estudio: 4:00 am: | 192 |
| Tabla 4.25. Mediciones de Temperatura de bulbo seco en la zona crítica..... | 198 |
| Tabla 4.26. Valores máximos permisibles de cada una de las variables medidas según COVENIN, ASHRAE y UGT: | 199 |
| Tabla 4.27. Comparación de valores medidos con sus respectivos límites permisibles | 200 |
| Tabla 4.28. Caudal de extracción de aire en la zona crítica objeto de estudio:..... | 203 |
| Tabla 5.1. Velocidad de captura del contaminante. | 206 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1.1. Biblioteca en estudio: “Dr. Luis García Pellissier, de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui” | 27 |
| Figura 1.2. Organigrama de la Biblioteca “Dr Luis García Pellissier”..... | 28 |
| Figura 2.1. Esquema de técnicas de eliminación de los COVs..... | 51 |
| Figura 3.1. Vista frontal de la Biblioteca “Dr. Luis García Pellissier, de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui” | 75 |
| Figura 3.3. Esquema de partes del detector multigas Sirius | 96 |
| Figura 3.4. Diseño del sensor de fotoionización típico. <i>Fuente: MSA (2004).</i> | 98 |
| Figura 3.5. Partes del Detector Multigas Sirius | 102 |
| Figura 3.7. Zona crítica (Sala de estudio en el nivel 2.25 y 4.35), con sus respectivos puntos de muestreo longitudinales..... | 112 |
| Figura 3.8. Unidad <i>CARRIER</i> , modelo: 38AK-O12-511 perteneciente al área crítica objeto de estudio. | 113 |
| Figura 3.9. Puntos de muestreo longitudinales correspondientes al ducto de distribución de aire del área crítica | 115 |
| Figura 3.10. Diagrama de flujo para la medición de la concentración de $C_4H_6O_2$ en la zona crítica..... | 120 |
| Figura 3.11. Diámetro del ducto de distribución de aire de acondicionamiento de la zona crítica..... | 122 |
| Figura 3.12. Localización de los puntos de muestreo transversales del ducto de la zona crítica..... | 124 |
| Figura 3.13. Datalogger DO2003 Marca Delta OHM. | 126 |
| Figura 3.14. Manera correcta de colocar la sonda AP471S1 con relación al flujo de aire al momento de realizar las mediciones..... | 132 |
| Figura 3.15. Manera correcta de colocar la sonda AP471 S1 al momento de realizar las mediciones..... | 132 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.16. Partes de la sonda AP471 S1 | 133 |
| Figura 3.17. Dimensiones de la sonda AP471 S1 utilizada. | 133 |
| Figura 3.18. Diagrama de flujo para la medición de las variables de confort. | 137 |
| Figura 3.19. Equipo de expansión directa tipo Split. | 150 |
| Figura 3.20. Componentes principales equipo de expansión directa tipo Split. | 151 |
| Figura 3.21. Evaporadora de 10 toneladas de refrigeración zona crítica..... | 151 |
| Figura 3.22. Distribución y localización de los puntos de muestreo obtenidos..... | 161 |
| Figura 3.23. Psicrómetro Digital..... | 164 |
| Figura 4.1. Respuesta a la pregunta 1 de la encuesta dirigida a los estudiantes de la biblioteca en estudio..... | 165 |
| Figura 4.2. Respuesta a la pregunta 2 de la encuesta dirigida a los estudiantes de la biblioteca en estudio..... | 166 |
| Figura 4.3. Síntomas presentados en los estudiantes de la sala 1. | 167 |
| Figura 4.4. Respuesta a la pregunta 3 de la encuesta dirigida a los estudiantes de la biblioteca en estudio..... | 168 |
| Figura 4.5. Respuesta a la pregunta 4 de la encuesta dirigida a los estudiantes de la biblioteca en estudio..... | 169 |
| Figura 4.6. Respuesta a la pregunta 5 de la encuesta dirigida a los estudiantes de la biblioteca en estudio..... | 170 |
| Figura 4.7. Respuesta a la pregunta 1 de la encuesta dirigida a los empleados que laboran en la biblioteca en estudio | 171 |
| Figura 4.8. Respuesta a la pregunta 2 de la encuesta dirigida a los empleados que laboran en la biblioteca en estudio | 172 |
| Figura 4.9. Respuesta a la pregunta 3 de la encuesta dirigida a los empleados que laboran en la biblioteca en estudio | 173 |
| Figura 4.10. Respuesta a la pregunta 4 de la encuesta dirigida a los empleados que laboran en la biblioteca en estudio | 174 |
| Figura 4.11. Respuesta a la pregunta 5 de la encuesta dirigida a los empleados que laboran en la biblioteca en estudio | 175 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.12. Comportamiento de la temperatura en los puntos de muestreo longitudinales estudiados, a las dos horas de estudio seleccionadas | 193 |
| Figura 4.13. Comportamiento de la Velocidad del aire en los puntos de muestreo longitudinales estudiados, a las dos horas de estudio seleccionadas | 194 |
| Figura 4.14. Comportamiento del caudal de aire en los puntos de muestreo longitudinales estudiados, a las dos horas de estudio seleccionadas | 195 |
| Figura 4.15. Comportamiento de la Concentración del $C_4H_6O_2$ en los puntos de muestreo longitudinales estudiados, a las dos horas de estudio seleccionadas..... | 196 |
| Figura 4.16. Comportamiento de la Humedad Relativa en los puntos de muestreo longitudinales estudiados, a las dos horas de estudio seleccionadas | 197 |
| Figura 5.1. Redistribución del ducto de renovación de aire propuesto..... | 212 |

NOMENCLATURA

| <i>Símbolo</i> | <i>Magnitud</i> | <i>Denominación</i> |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| <i>Ppm</i> | Concentración | Partes por millón |
| <i>Ppb</i> | Concentración | Partes por billón |
| <i>eV</i> | Potencial de Ionización | Electrón-Voltio |
| <i>°C</i> | Temperatura | Grados centígrados |
| <i>%</i> | Humedad Relativa | Porcentaje de humedad |
| <i>Km/h</i> | Velocidad | Kilómetros por hora |
| <i>m/s</i> | Velocidad | Kilómetros por hora |
| <i>m³/min</i> | Caudal | Metros cúbicos por minuto |
| <i>m³/h</i> | Caudal | Metros cúbicos por hora |
| <i>m</i> | Longitud | Metros |
| <i>h</i> | Tiempo | Hora |
| <i>Min</i> | Tiempo | Minutos |
| <i>Ton</i> | Capacidad | Toneladas |
| <i>m²</i> | Área | Metros cuadrados |
| <i>in²</i> | Área | Pulgadas cuadradas |
| <i>m³</i> | Volumen | Metros Cúbicos |
| <i>s</i> | Tiempo | Segundos |

INTRODUCCIÓN

Existe una estrecha relación entre los diversos usos que se le puede dar a una edificación, bien sea como lugar de trabajo o vivienda, con la aparición de ciertos síntomas o molestias que perjudican la salud de las personas que en ella habitan. Este hecho demanda atención inmediata en todo el mundo, debido a que sus consecuencias y efectos adversos no solo afectan la salud de los individuos, sino también, el desenvolvimiento, desarrollo y rendimiento de las personas que se encuentren dentro de una edificación contaminada.

Dicha contaminación se traduce en baja calidad del aire en el interior de las edificaciones y viene dada principalmente por el enrarecimiento del aire causado por la presencia de gases y partículas contaminantes provenientes tanto del ambiente exterior como del mismo ambiente interno.

La baja calidad del aire en ambientes interiores es un problema que se ha incrementado en los últimos años, debido a que los diseños de edificaciones van orientados al ahorro de energía. Este ahorro energético se obtiene reciclando la mayor cantidad de aire posible con una proporción cada vez menor de aire seco proveniente de la atmósfera, con lo cual se genera un ciclo de aire ya contaminado que afecta al individuo de muchas maneras. Cabe destacar que el término “ambiente interior”, se aplica solo a lugares de ámbito no industrial como: edificios de oficinas, hospitales, escuelas, bibliotecas, vivienda entre otros.

La concentración de contaminantes en dichas edificaciones suelen ser iguales que las encontradas comúnmente en la atmósfera y mucho menor que las encontradas en ambientes industriales.

En Venezuela no escapamos de esta problemática ambiental, y la biblioteca “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui constituye un vivo ejemplo de ello, en ésta los estudiantes y personal administrativo permanecen un tiempo considerable del día, (aproximadamente un 42%), respirando aire con alto contenido de contaminantes mejor conocidos como Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), entre los cuales se encuentran comúnmente: Benceno, Hexano, Tolueno, Formaldehído, Xilenos, Isopropanol, Eteres glicólicos, Olefinas, Naftas, entre otros, generados éstos por el uso de productos de oficina, materiales aislantes, muebles sintéticos, productos de limpieza y mantenimiento, maderas prensadas, entre otros, así como también el ambiente exterior contaminado por la industria.

Partiendo de las premisas anteriormente mencionadas, se propone en esta investigación evaluar la calidad del aire de la biblioteca mencionada para así arrojar soluciones que mejoren el ambiente interior y por ende la calidad de vida de los usuarios y/o trabajadores que hacen vida en el recinto antes mencionado.

La investigación desarrollada está comprendida por seis capítulos descritos a continuación:

Capítulo I: en este capítulo se definen elementos como la situación problemática en la cual se encuentra la biblioteca, así como también el objetivo general y los específicos de la presente investigación.

Capítulo II: en el capítulo dos (2), se enuncian los antecedentes de la presente investigación, así como también todos los elementos teóricos que refuerzan el

desarrollo de la investigación, de igual forma en este capítulo se encuentran las bases legales de las cuales se rige el presente proyecto.

Capítulo III: en este capítulo, se presentan todos los elementos y factores tomados en cuenta para desarrollar la experimentación, que consiste en la medición de variables como: la concentración del COVs, los parámetros de confort, entre otros, de igual forma se encuentra de forma detallada las especificaciones y características de los equipos de medición a utilizar.

Capítulo IV: el capítulo cuatro (4) comprende todo lo relacionado a resultados experimentales, entre los cuales se pueden destacar: las encuestas realizadas a empleados y alumnos, parámetros de confort y concentración del contaminante estudiado, dichos resultados están constituidos por tablas y graficas que facilitan su comprensión.

Capítulo V: el presente capítulo refleja una serie de técnicas y/o estrategias dirigidas a mejorar la calidad de aire tomando en cuenta los elementos y factores estudiados (Concentración del contaminante, Temperatura, Humedad, Caudal y velocidad del aire).

Capítulo VI: en este capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones planteadas, tomando en cuenta los resultados obtenidos, el problema planteado y los objetivos alcanzados.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Reseña de la biblioteca “Dr. Luis García Pellisier”

La Biblioteca “Dr. Luís García Pellisier”, perteneciente a la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui, representa el más importante centro de información de dicha universidad, su fundación se remonta al 17 de Mayo de 1.972, en el ya extinto Instituto Tecnológico de la Universidad, los servicios que esta prestaba para aquel entonces eran de préstamos circulantes, hemerotecas y salas de lectura. Transcurridos siete años, en 1.980, ocurrió una expansión de servicios de esta Biblioteca, ya que para ese entonces existían tres sub-divisiones de la misma, una en la Escuela de Ingeniería, otra en la escuela de Ciencias Administrativas, y la ultima en la Unidad de Estudios Básicos, para esa fecha la nomina de empleados pertenecientes a la Biblioteca era de solo dieciséis (16) empleados.

En el mes de Abril de 1.983, gracias a las exigencias de la demanda de usuarios producto de la masificación estudiantil y de cada una de las especialidades científicas y tecnológicas que se imparten en el núcleo, surge la idea de la Pre-organización de los servicios de la Biblioteca. Para la Universidad de Oriente, específicamente su Núcleo en Anzoátegui, la biblioteca “Dr. Luis García Pellisier”, representa un apoyo fundamental para las investigaciones, los docentes y para la población estudiantil que hace vida dentro de la Universidad, y es por ello que esta Biblioteca es tan importante para la institución. La Biblioteca Central “Dr. Luís García Pellisier”, esta constituida por las Salas: 1, 2, 3, Referencia y Tesis, Publicaciones Periódicas, Kiosco Informático, Procesos Técnicos, Área de Dirección y Atención al Público; además es importante destacar que funcionan otros organismos que dependen de la Universidad

como son: Tecnología Educativa, Indesa, Fondo Editorial, Reproducción, Extensión Universitaria, Cronista, Soudo, Aspudo y Relaciones Institucionales. En la figura 1.1. mostrada a continuación se observa la fachada principal de la biblioteca estudiada.



Figura 1.1. Biblioteca en estudio: “Dr. Luis García Pellissier, de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui”

Fuente: El Autor. (2009)

1.1.1 Visión

Ser una institución en el campo educativo y en la formación integral de los ciudadanos reconocida por su capacidad técnica y la excelencia de su gente.

1.1.2 Misión

La Biblioteca Central “Dr. Luis García Pellissier”, representa un aspecto fundamental y vital para la Universidad y como tal sirve de apoyo a las actividades de docencia, investigación y extensión.

1.1.3. Funciones

- Controlar la información que derive como producto de la actividad académica y de investigación de la Universidad.
- Preservar y divulgar el acervo documental, bibliográfico, hemerográfico, audiovisual, presente y retrospectivo, destinado a atender las necesidades de información, estudio e investigación de la comunidad universitaria.
- Proporcionar a los diferentes sectores el libre acceso a los conocimientos y a la información que estos puedan requerir y así atender sus necesidades de formación y actualización, contribuyendo con ello al desarrollo profesional, científico y tecnológico

1.1.4. Estructura organizativa de la biblioteca “Dr. Luis García Pelissier”

La estructura organizativa de la biblioteca en estudio se presenta en el organigrama mostrado a continuación, (ver Figura 1.2)

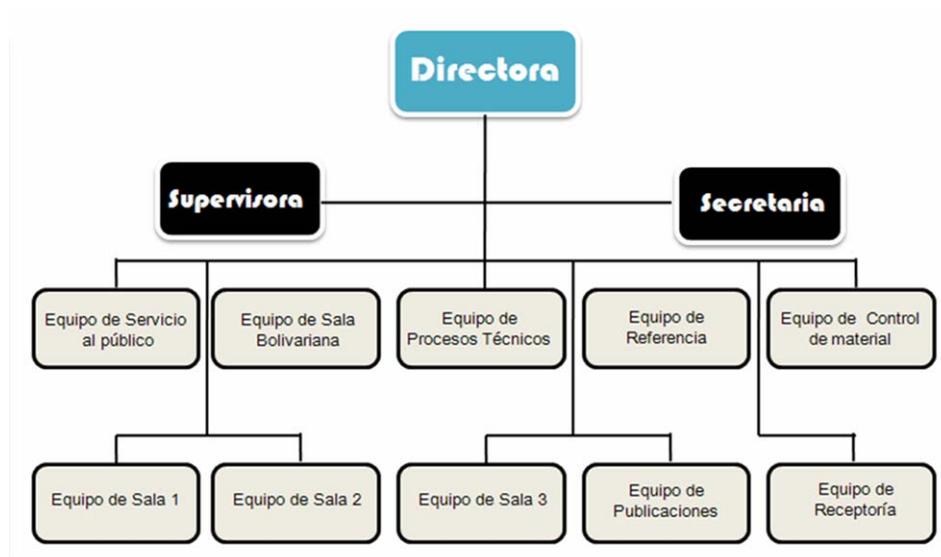


Figura. 1.2. Organigrama de la Biblioteca “Dr Luis García Pellissier”.

Fuente: El Autor (2009)

1.2 Antecedentes del problema

En la biblioteca central “Dr. Luis García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui, existen diversos problemas en cuanto a calidad de aire se refiere, bien sea las bajas temperaturas en algunas salas, causadas por el mal estado de las unidades de aire acondicionado por falta de su respectivo mantenimiento, así como también olores presentes en dichas áreas producido por los contaminantes presentes en las mismas, dichos contaminantes generan síntomas de enfermedades en muchos casos, como lo son: tos, irritaciones, alergias, etc., es decir, existen un conjunto de factores que producen la mala calidad del ambiente interior que a su vez genera discomfort en el usuario del recinto en estudio.

1.3 Planteamiento y formulación del problema

El Hombre y el mundo han evolucionado, sus necesidades y capacidades han cambiado de orientación y se torna imprescindible la invención e implementación de equipos, materiales y sustancias cada vez más innovadoras que, de alguna forma proporcionen beneficios en cuanto a confort y sensación de bienestar a la sociedad. Es importante que el hombre tome conciencia de su rol protagónico en cuanto a la cantidad de efectos negativos que este tipo de invenciones genera dentro de las edificaciones; por lo tanto, se hace imperativa la necesidad de conocer y analizar dichos efectos sobre la salud humana.

Es de suma importancia conocer la variedad y cantidad de gases contaminantes que estos materiales y sustancias generan. Estos a su vez, se traducen en efectos negativos potenciales para la salud humana y promueven la contaminación de ambientes interiores. Dichos gases son conocidos como Compuestos *Orgánicos Volátiles*, (COVs), o *Volatil Organic Compounds*, (VOC), y los más comunes son: el benceno y el formaldehido, que si bien se generan en el interior de los edificios con el

uso de un centenar de productos utilizados por el hombre a diario como: productos de oficina, materiales aislantes, muebles sintéticos, productos de limpieza y mantenimiento, maderas prensadas, etc., también provienen del ambiente exterior contaminado, generados por la industria química y petroquímica. Suelen estar presentes en trazas es decir, en concentraciones que rondan las pocas ppm (partes por millón), sin embargo, el problema surge cuando su concentración sobrepasa la concentración ambiental permisible (CAP) según la norma pertinente. Aunque éste es un problema bien diagnosticado, su solución dista de ser única y definitiva.

Este proyecto se ve sustentado en la necesidad de evaluar la calidad del aire en el interior de la Biblioteca “Dr. Luis García Pelliser” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui, mediante la medición de las concentraciones de los combustibles orgánicos volátiles presentes en ella, utilizando instrumentos de alta tecnología creados para este fin, y la propuesta de técnicas para reducir las concentraciones de dichos gases que sobrepasen los límites permisibles (CAP), según la normativa correspondiente, así como también, el estudio del efecto que estos causan en la población estudiantil y laboral que hacen vida dentro del recinto. La importancia de este estudio radica en la aplicación de la Ingeniería como solución a problemas cotidianos que afectan la calidad de vida del ser humano, específicamente el problema de la contaminación de ambientes interiores, que día a día y sin aviso deteriora progresivamente el lugar de trabajo, salud y rendimiento de la población que en él se encuentra.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 General

Proponer las estrategias que permitan la reducción de la concentración de los gases contaminantes (COVs), en el interior de la Biblioteca “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui.

1.4.2 Específicos

1. Diagnosticar el índice de la concentración de los gases presentes en el ambiente interior del edificio.
2. Diseñar el procedimiento sistemático para la toma de datos experimentales.
3. Medir los parámetros de temperatura, humedad y concentración de los gases tomando en cuenta la norma COVENIN 3513: 1999.
4. Establecer los límites permisibles para los valores de medición obtenidos tomando en cuenta lo recomendado por la norma COVENIN 2253: 2001.
5. Comparar los valores obtenidos experimentalmente con los valores permisibles según la norma antes mencionada.
6. Evaluar la calidad del aire mediante el monitoreo de la concentración de los gases contaminantes en el ambiente interior de la biblioteca en estudio.

1.5 Justificación e importancia de la investigación

El desarrollo de esta investigación permitirá estudiar la calidad del aire en el interior de la biblioteca “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad de Oriente núcleo Anzoátegui mediante el monitoreo de las concentraciones de los compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en dicho recinto, esto permitirá proponer técnicas para las disminución de la concentración excesiva de estos contaminantes , con el fin de reducir o eliminar los efectos nocivos que los mismos causan en el personal administrativo y usuarios que visitan diariamente la biblioteca central “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad anteriormente mencionada. La importancia de este estudio radica en la aplicación de la ingeniería como solución a problemas cotidianos que afectan la calidad de vida del ser humano, específicamente el problema de la contaminación de ambientes interiores, que día a día y sin aviso deteriora progresivamente el lugar de trabajo, viviendas, así como también la salud y el rendimiento de la población que se encuentren dentro de los recintos mencionados. La justificación e importancia de la investigación, está basada en los siguientes términos:

- **Institucional:** Con la evaluación de la calidad del aire de la Biblioteca “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui en términos de concentración de COVs presentes en la misma, y la aplicación de las técnicas de disminución propuestas en esta investigación, se inicia un proceso de mejoramiento no solo de la calidad del aire dentro del recinto en estudio, también se inicia el mejoramiento de la calidad de vida en lo que a salud se refiere, de las personas (personal o usuario) que hacen vida en esta biblioteca, lo que de igual forma se traduce en el incremento del rendimiento tanto académico (Enseñanza-aprendizaje), como laboral presentado por el personal que trabaja dentro del recinto ya mencionado. Esto lleva al intercambio de información entre otras

dependencias de la Universidad de Oriente, y también sirve de colaborador para las Instituciones que deseen tomar el mismo rumbo planteado en esta investigación.

- **Económico:** con la evaluación de la calidad del aire de la Biblioteca en estudio, y el mejoramiento de la misma, se produce un efecto positivo en cuanto al ámbito económico, debido a que la propuesta de técnicas que mejoren la calidad del aire en términos de disminución o eliminación de compuestos orgánicos volátiles (COVs), proporciona mejoras a las inversiones en salud, reduciendo así el riesgo de contraer enfermedades como: rinitis, asma, neumonitis hipersensitivas, entre otras, en la comunidad de la Biblioteca.
- **Técnico:** al aplicar las técnicas de disminución de contaminantes de interior y mejora de calidad de aire propuestas en el presente trabajo, se incentiva al personal de mantenimiento encargado del acondicionamiento de aire de la biblioteca en estudio, a conocer los parámetros a los cuales cada unidad de aire acondicionado debe trabajar, y que no se trata solo de “enfriar” un área determinada, sino que se deben instalar equipos con la capacidad necesaria para proporcionar el número de cambios requeridos por hora, ya que con ello se disminuiría significativamente los contaminantes en el ambiente interior estudiado.
- **Académico:** Con la medición de las concentraciones de contaminantes COVs presentes en la biblioteca estudiada, se inicia el proceso de proposición y aplicación de técnicas de disminución de los gases que sobrepasan el límite superior permisible indicado por la norma, con la aplicación de estas técnicas se mejora la calidad del aire y con ella el confort térmico en los espacios internos de la biblioteca, y por ende, se facilita el proceso de aprendizaje y enseñanza de los estudiantes en general, así como también el rendimiento del personal que labora en esta Biblioteca. Cabe destacar que debido a la carencia de información de proyectos de este tipo, el mismo se podrá exponer en congresos internacionales,

induciendo su aplicación para otros ambientes internos, con concentraciones considerables de Compuestos orgánicos volátiles (COVs).

1.6. Limitaciones de la investigación

El estudio fue desarrollado en las instalaciones de la Biblioteca “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad De Oriente Núcleo Anzoátegui, el mismo abarca la evaluación de la calidad del aire mediante el monitoreo de las concentraciones de los compuestos orgánicos volátiles (Acetato de Vinilo) presentes en dicho recinto, utilizando el “Detector Multigas Sirius MSA”, siguiendo las especificaciones planteadas por la normativa correspondiente, así como también los parámetros de confort medios con el “Datalogger DO2003, Marca Delta OHM”, dichos equipos fueron proporcionados por la Universidad de Oriente, específicamente por el departamento de Ingeniería Mecánica y Petróleo de la misma; esto con el fin de proponer técnicas efectivas de disminución en de la concentración de los (COVs) y mejoramiento de la calidad del aire de la biblioteca estudiada.

La limitación más significativa que se puede destacar para el desarrollo de la presente investigación, se refiere a la falta de información existente acerca del procedimiento a seguir para medir la concentración de los gases contaminantes (COVs), mediante el método de Fotoionización utilizando un detector PID. De igual forma la humedad puede causar algunos problemas, ya que cuando el instrumento todavía no está caliente y se lleva a una atmósfera cálida y húmeda, esa humedad puede condensarse en la lámpara del detector y reducir la luz emitida. La humedad del aire también reduce la ionización de las sustancias que se van a monitorear y provocan una reducción en la medición, por lo cual se debe tener un monitoreo constante de la humedad al momento de realizar cada medida.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

a) Mendivil A. y Del Campo Díaz V, (2007), realizaron un estudio de calidad del aire interior en los centros de educación infantil del país vasco. Su investigación se realizó en torno a la comparación de la calidad del aire en el interior de un aula perteneciente a una escuela ubicada en Bizkaia situada en ámbito no urbano, con los estándares y normas internacionales. Se realizó el monitoreo mediante un detector de absorción de infrarrojo (sin dispersión) la concentración de CO₂. También se midió de forma puntual, la concentración de partículas y de COVs para evaluar la contaminación del aire producida por materiales y mobiliario, así como el confort termohigrométrico. En dicha investigación se concluyó que en aulas sin ventilación mecánica los rangos de concentración de CO₂ varían desde 1500 ppm a 2000 ppm durante las horas de ocupación escolar, alcanzándose en horas punta (11:00 y/o 16:00) picos de 3000 ppm.

b) Cuesta O., González M., Sánchez P., Collazo A., Wallo A., Guevara A., (1997) realizaron una investigación mostrando los valores obtenidos de la calidad del aire experimental en una zona de la Ciudad de La Habana con fuerte influencia industrial y del tráfico automotor. El SO₂ y las partículas suspendidas totales son un tercio superiores en ambientes exteriores. Mientras que el NO₂, NH₃ y H₂S registraron valores mayores en los ambientes interiores. Las concentraciones de SO₂ y las partículas suspendidas totales superan en esta zona las concentraciones máximas admisibles según las normas cubanas. En esta zona la prevalencia de enfermos por infecciones respiratorias (asma bronquial), es superior a la media de la ciudad. Las variables meteorológicas, humedad relativa y temperatura presentaron valores

ligeramente superiores en ambiente interior. Mientras la fuerza del viento fue aproximadamente dos veces superior en ambiente exterior.

c) Aguado S., Polo A., Coronas J., y Santamaría J, (2001), realizaron una investigación que plantea la eliminación de Compuestos Orgánicos Volátiles en el interior de edificios, se dicha investigación se propone un nuevo método de disminución de combustibles orgánicos volátiles (COVs), basado en la utilización de las membranas zeolíticas. Las ventajas que este método tiene en el control de la contaminación interior por COVs son claras: con respecto a la utilización de polvos adsorbentes (carbón activo y las propias zeolitas), las membranas permiten operar en continuo sin saturarse; con respecto a otras membranas selectivas (poliméricas), las membranas zeolíticas son más estables química y térmicamente hablando. Por último, se ofrecen resultados experimentales que validan el concepto de eliminación de COVs a través de membranas microporosas de zeolitas: un desarrollo similar al propuesto podría ser fácilmente adaptado a sistemas de acondicionamiento de aire para mejorar la calidad del ambiente interior de edificios (viviendas, hospitales, colegios, bibliotecas, fábricas, entre otros).

d) Zambrano J. C., Fumo N., (2007) realizaron un proyecto sobre la Valoración de la Calidad del Aire de la Biblioteca UNET con base en los Niveles de CO₂, dicho proyecto de investigación fue sustentado por las quejas de los usuarios en cuanto a la situación con respecto a los niveles de ventilación, Olores percibidos al entrar al recinto, así como comentarios de empleados con respecto a afecciones respiratorias. La medición de las concentraciones de CO₂ y el número de ocupantes, permitió conocer el comportamiento de estas dos variables con respecto del tiempo. Por otra parte, se determinó la variación de la concentración de CO₂ entre la concentración de equilibrio del ambiente con respecto de la concentración del aire exterior, a fin de poder inferir sobre el control de los biofluentes humanos. En general se determinó que existían adecuados niveles de ventilación, y para el caso del piso 1 en donde se encontraron valores no aceptables en las horas pico de ocupación, el análisis global

del sistema de ventilación sugiere que la situación puede ser corregida con una redistribución del aire de suministro.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Factores que afectan a la calidad del aire en los ambientes cerrados

Las deficiencias más frecuentemente encontradas en el aire de ambientes internos son consecuencia de alguno(s) de los factores siguientes:

2.2.1.1. Una ventilación inadecuada

Generalmente es debida a:

- ✓ Un insuficiente suministro de aire fresco, como consecuencia de una elevada recirculación del aire o de un bajo caudal de impulsión.
- ✓ Una mala distribución y, consecuentemente, una mezcla incompleta con el aire exterior, que provoca estratificaciones del aire y diferencias de presión entre los distintos espacios y zonas del edificio.
- ✓ Una incorrecta filtración del aire debido a un mantenimiento incorrecto o a un inadecuado diseño del sistema de filtración.
- ✓ Una temperatura del aire y humedad relativa extremas o fluctuantes.

2.2.1.2. La contaminación interior

Puede tener como origen al propio individuo, al trabajo, a la utilización inadecuada de productos (pesticidas, desinfectantes, limpieza, abrillantado), a los gases de combustión (fumar, cafeterías, laboratorios) y a la contaminación cruzada

procedente de otras zonas poco ventiladas que se difunden hacia lugares próximos y los afectan.

2.2.2.3. La contaminación exterior

Entrada en el edificio de humos de escape de vehículos, gases de calderas, productos utilizados en trabajos de construcción y mantenimiento (asfalto, por ejemplo) y aire contaminado previamente desechado al exterior, que vuelve a entrar a través de las tomas de aire acondicionado. Otro origen puede ser las infiltraciones a través del basamento (vapores de gasolinas, emanaciones de cloacas, fertilizantes, insecticidas, incluso dioxinas y radón). Está demostrado que al aumentar la concentración en el aire exterior de un contaminante, aumenta también su concentración en el interior del edificio, aunque más lentamente, e igual ocurre cuando disminuye. Por ello se dice que los edificios presentan un efecto de escudo.

2.2.2.4. La contaminación biológica

No suele ser frecuente en los edificios de oficinas, pero en determinados casos puede provocar una situación sanitaria delicada.

2.2.2.5. La contaminación debida a materiales empleados en la construcción:

La utilización de materiales inadecuados así como con defectos técnicos puede ser una causa habitual de la contaminación del aire interior.

2.2.3. Métodos de control de la calidad del aire

Los métodos de control de la calidad de aire se basan principalmente en los métodos tradicionales de la higiene industrial, tales como:

- ✓ **Eliminar la fuente y/o sustituirla:** Si se puede identificar el foco de la contaminación éste debe eliminarse. Si ello no es posible, se procurará sustituir el producto por otro con menor potencial contaminante. Esto significa evitar la utilización de materiales que puedan liberar sustancias contaminantes, que sean difíciles de mantener y que recojan polvo o moho.
- ✓ **Mitigar la acción de la fuente:** Para aquellas fuentes que no puedan ser eliminadas se procurará limitar los efectos que producen recubriéndolas con pinturas adecuadas u otras barreras.
- ✓ **Diluir el aire interior con un aire menos contaminado:** Disminuir la concentración de los contaminantes presentes mediante su dilución en un volumen de aire considerablemente mayor es un método habitual y la base de algunas normas sobre calidad del aire como la ASHRAE Standard 62.
- ✓ **Eliminar los contaminantes presentes en el aire con otros métodos distintos a la dilución:** Se pueden realizar algunas operaciones concretas para eliminar el contaminante o reducir su concentración. Por ejemplo, neutralizar con amoníaco la presencia de formaldehído en el ambiente o utilizar la separación por filtración con un aspirador de polvo.
- ✓ **Comprobar la eficacia de la ventilación:** Deben efectuarse los tests necesarios en puntos significativos del sistema de aire acondicionado para comprobar si los parámetros de funcionamiento son acordes con los de diseño.
- ✓ **Controlar las diferencias de presión:** Dado que pueden ser la causa de los movimientos de los contaminantes de unos locales a otros, se tomarán las medidas necesarias para equilibrar las presiones en distintos puntos del edificio. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que en algunos casos se dispone expresamente de zonas a diferente presión para control de los contaminantes.
- ✓ **Utilizar extracción localizada:** Como forma de controlar la generación de algunos contaminantes en el mismo foco (operaciones de limpieza, abrasivos, cocinas, entre otros.).

2.2.4. Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)

Los Compuestos Orgánicos Volátiles son sustancias químicas que contienen carbono y se encuentran en todos los elementos vivos. Los compuestos orgánicos volátiles, a veces llamados COVs se convierten fácilmente en vapores o gases. Junto con el carbono, contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural. También son liberados por disolventes, pinturas, pegantes y otros productos empleados y almacenados en la casa y el lugar de trabajo. Muchos compuestos orgánicos volátiles son peligrosos contaminantes del aire. Cuando se mezclan con óxidos de nitrógeno, reaccionan para formar ozono en el nivel del suelo o bruma industrial (conocida como "smog" en inglés). Algunos ejemplos de compuestos orgánicos volátiles son gasolina, benceno, formaldehído, disolventes como tolueno y xileno y percloroetileno (o tetracloroetileno), el principal disolvente usado en la industria de lavado en seco. Muchos Compuestos Orgánicos Volátiles se usan comúnmente en disolventes de pintura y de laca, repelentes de polillas, aromatizantes del aire, materiales empleados en pasatiempos, preservativos de madera, sustancias en aerosol, disolventes de grasa, productos de uso automotor y líquidos para la industria de lavado en seco. En los ambientes internos (oficinas, bibliotecas, viviendas, hospitales, entre otros.), existen gran variedad de gases contaminantes que forman parte de la lista de los (COVs), los más comunes se presentan en la tabla 2.1. que se muestra a continuación:

Tabla 2.1. Compuestos Orgánicos Volátiles más comunes en ambientes cerrados.

| Compuestos Orgánicos Volátiles |
|---|
| Benceno |
| Acetaldehído |
| Acetona |
| Acetato de Vinilo |
| Tetracloruro de carbono |
| Acetato etílico |
| Etilenglicol |
| Formaldehído |
| Hexano |
| Heptano |
| Alcohol isopropílico |
| Metil-étil-cetona |
| Cloruro de metileno |
| Éter metílico |
| Naftaleno |
| Estireno |
| Tolueno |
| Xileno |

Fuente: Aguado Sierra Sonia (2001)

2.2.5. Tipos de contaminantes de ambientes interiores y sus fuentes emisión

Los ocupantes de un edificio son en sí una fuente de contaminación, ya que el ser humano produce de modo natural dióxido de carbono, vapor de agua, partículas y

aerosoles biológicos. Por otro lado, hay una serie importante de contaminantes que pueden ser generados por el propio edificio, por su contenido o pueden incluso depender de su ubicación. Otro grupo tiene su origen en combustiones que se producen en el interior. También el uso de productos de limpieza, mantenimiento y embellecimiento genera la presencia de contaminantes en el interior del edificio. Algunas de estas fuentes producen mezclas complejas, como puede ser el humo de tabaco, los aerosoles y humos generados en la preparación de comidas, los aerosoles biológicos infecciosos y alérgenos generados en los circuitos de refrigeración y los propios del cuerpo humano. Un tratamiento cuantitativo preciso de estos contaminantes puede ser difícil, siendo la evaluación en muchos casos subjetiva. Aunque el problema es difícil de abordar, se intenta sistematizar a partir de una clasificación de los contaminantes que se expone brevemente.

2.2.5.1. Contaminantes químicos

En la tabla 2.2. Se presentan los contaminantes químicos más frecuentes en el aire interior de los edificios, clasificados en función de su posible procedencia.

Tabla 2.2. Contaminantes químicos más frecuentes en el aire interior.

| Productos de combustión | Materiales de construcción | Productos de consumo | Varios |
|-----------------------------|--|--|----------------|
| NO ₂ | Fibra de vidrio | Pinturas | O ₂ |
| NO | Asbestos | Barnices | Pb |
| CO | Compuestos Orgánicos: Disolventes Formaldehido | Plásticos | Fe |
| CO ₂ | | Colas y | Mn |
| BAP | | Disolventes | Complejos |
| SO ₂ | | Productos de | Radón |
| Orgánicos madera quemada | | Fibras textiles | |
| Humo de tabaco: | | Papeles de pared y colas de empapelado | |
| Aldehídos | | Pesticidas | |
| HCN | | Repelentes de insectos | |
| Cetonas | | | |
| Nitritos | | | |

Fuente: Berenguer, M^a José (1995)

2.2.5.1.1 Productos de combustión

La presencia de cierto número de contaminantes químicos en el interior de un edificio es debida a productos procedentes de combustiones. La utilización de cocinas, estufas, secadoras, refrigeradores y quemadores de fuel-oil facilita la presencia de óxidos (CO, CO₂, NO, NO₂ y SO₂) en el aire. Algunos de estos contaminantes pueden llegar al aire a partir de fuentes exteriores debido a tomas de aire inadecuadas. Entre todos ellos destacan por su frecuencia los siguientes:

Dióxido de carbono: El dióxido de carbono es un gas que se forma por combustión de sustancias que contienen carbono. En locales no industriales la principal fuente está en la respiración humana y el fumar. Es un asfixiante simple cuya presencia a concentraciones altas provoca falta de oxígeno.

Monóxido de carbono: El monóxido de carbono se forma por combustión incompleta de sustancias que contienen carbono. Su presencia en medios no industriales es debida a la emisión por motores de combustión interna en garajes dentro del edificio, la toma inadecuada de aire fresco exterior y el fumar. Tiene un efecto asfixiante al unirse a la hemoglobina de la sangre (formando carboxihemoglobina) y disminuir la capacidad de aporte de oxígeno hasta los tejidos.

Humo de tabaco: El hecho de fumar representa la liberación en el aire de una mezcla compleja de productos químicos (más de 3000 contaminantes conocidos). Además de monóxido de carbono, dióxido de carbono y partículas, se producen óxidos de nitrógeno y una amplia variedad de otros gases y compuestos orgánicos entre los que destacan aldehídos, tales como formaldehído y acroleína, hidrocarburos aromáticos policíclicos, incluido benzoapireno (BAP), nicotina, nitrosaminas, cianuro de hidrógeno, cetonas y nitrilos, así como cantidades apreciables de arsénico y cadmio.

Las partículas del humo de tabaco se hallan, en aproximadamente un 95%, dentro del intervalo respirable (diámetro: 7 mm). En este sentido, su presencia en el aire del interior de un edificio es un problema que afecta tanto a fumadores como a no fumadores.

2.2.5.1.2. Materiales de construcción

Entre los materiales de construcción se hallan los empleados en aislamiento tanto general del edificio como térmico de las instalaciones de aire acondicionado. De entre ellos cabe destacar las fibras, principalmente la de vidrio y los asbestos, y distintos tipos de compuestos orgánicos volátiles.

Fibras: la fibra de vidrio y los asbestos son dos tipos de fibras que presentan un riesgo potencial de contaminación, tanto si se generan en un ambiente industrial como en uno no industrial. La fibra de vidrio está formada por material amorfo vídrioso. Se usa como refuerzo en plásticos, cauchos, papel y tejidos y como aislante térmico en los sistemas de aire acondicionado. El término asbestos abarca distintas formas de silicatos minerales empleados normalmente en materiales de aislamiento. Aunque su utilización está prohibida o muy limitada en los edificios de nueva construcción, aún es frecuente en edificios antiguos, pudiendo ser fuente de contaminación durante la realización de trabajos de mantenimiento y remodelación, así como consecuencia de la degradación de los materiales que los contienen.

Compuestos orgánicos volátiles (COVs):

Formaldehído: El formaldehído se emplea extensamente en la formulación de plásticos, especialmente en las resinas de melamina-formaldehído, urea-formaldehído y fenol-formaldehído usadas como aislantes térmicos y barnices. Una inadecuada formulación, un mal curado, así como la degradación producida con el paso del tiempo, son las causas de la emisión de este compuesto al aire ambiente. El formaldehído puede ocasionar irritación en las vías respiratorias y alergias y está considerado como una sustancia sospechosa de inducir procesos cancerígenos.

Disolventes: Otros materiales de construcción que pueden ser fuente de contaminación por generación de compuestos químicos en el aire del interior de un edificio son los muebles y elementos de decoración de madera y caucho, los agentes sellantes, colas, barnices, y materiales textiles. Entre los disolventes detectados con una mayor frecuencia se hallan: tolueno, xilenos, etilbenceno, trimetilbencenos, propilbencenos, n-nonano, n-decano, n-undecano e hidrocarburos clorados, entre ellos freones y 1,2-dicloroetano.

2.2.5.1.3. Productos de consumo

Los productos de consumo llegan continuamente a través del propio usuario. Incluyen productos utilizados ya en la construcción, tales como pinturas, de base acuosa (pueden contener mercurio como fungicida) y de aceite (hidrocarburos), barnices, plásticos, colas, disolventes, productos para sellado (muchos contienen anhídrido acético) y recubrimiento, fibras textiles, papel de pared y colas para empapelar, así como otros nuevos como pesticidas y repelentes (incluido el vehiculizante), productos de limpieza en general (incluyendo quitamanchas, limpia hornos y jabones para muebles y alfombras) y siliconas abrillantadoras, cosméticos, desodorantes, lacas para pelo, entre otros. Aparte de los compuestos orgánicos ya citados en materiales de construcción, entre los productos de consumo destacan los que pueden agruparse como partículas y los pesticidas.

Partículas: Las partículas respirables pueden ser irritantes respiratorios, especialmente para asmáticos. En los ambientes no industriales la principal fuente de partículas finas (2-3 μm) es el humo de cigarrillo y los aerosoles procedentes de distintos tipos de pulverizadores. Los aerosoles de partículas de mayor tamaño (3-10 μm) incluyen fibras desprendidas de alfombras, escamas de piel humana, suciedad transportada desde el exterior, entre otros. A menudo la exposición a partículas en el interior de un edificio es superior a la existente en el exterior.

Pesticidas: en este grupo se incluye una gran variedad de dicumarinas, organofosforados, carbamatos o hidrocarburos clorados que se usan contra insectos, roedores y el crecimiento microbiológico. Mientras algunos son volátiles y tienen un tiempo de residencia limitado, otros pueden acumularse en el polvo y redistribuirse. Se desconocen los efectos para la salud asociados a exposiciones prolongadas a bajas concentraciones de muchos pesticidas y sus subproductos.

2.2.5.2. Contaminantes biológicos

De la misma manera que se han considerado los contaminantes químicos, cabe también considerar a los microorganismos presentes en el aire interior. Para explicar la producción de aerosoles biológicos debe hacerse referencia a los conceptos de reservorio, multiplicador y diseminador. Un reservorio es un medio que reúne una serie de condiciones que permiten a los microorganismos sobrevivir en un determinado entorno, mientras que el multiplicador favorece que se reproduzcan y el diseminador actúa como introductor de los microorganismos y de sus metabólicos en el aire. Los contaminantes biológicos, por otro lado, se clasifican básicamente como agentes infecciosos, antígenos y toxinas por ser éstas sus formas más usuales.

Agentes infecciosos: las enfermedades infecciosas se transmiten más fácilmente en los ambientes cerrados que en el exterior, ya que el volumen de aire en el cual se diluyen los microorganismos es más bajo, el contacto directo es mayor y las personas pasan más tiempo en ambientes cerrados que en el exterior. También hay que considerar que muchas enfermedades contagiosas requieren el contacto directo entre huéspedes humanos para su transmisión, mientras que otras, tales como gripe, sarampión, viruela, tuberculosis y algunos resfriados comunes, se transmiten fácilmente por el aire pudiendo sobrevivir los microorganismos causantes de los

mismos durante su paso a través del sistema de ventilación, si no se toman medidas específicas al respecto.

Antígenos: antígeno es toda sustancia que al penetrar en un organismo animal dotado de un sistema inmunológico maduro es capaz de provocar una respuesta inmunitaria específica. En general, cualquier proteína, glicoproteína o carbohidrato con un peso molecular superior a 10.000 Daltons puede actuar como un antígeno. La mayor parte de los antígenos que pueden encontrarse en el aire de los ambientes cerrados proceden de microorganismos, artrópodos o animales. Los presentes en el aire pueden causar enfermedades tales como neumonitis hipersensitiva, rinitis alérgica y asma alérgica, entre otras. Los síntomas característicos de la neumonitis hipersensitiva son: fiebre, escalofríos, ahogos, malestar y tos.

En un principio la enfermedad parece una gripe para pasar luego a una neumonía aunque los síntomas remiten con el cese de la exposición. Sin embargo, exposiciones prolongadas pueden provocar un daño permanente en el pulmón. Los síntomas de la rinitis alérgica son mucosidades, picor de nariz y ojos y congestión de los senos nasales, mientras que los del asma alérgico son respiración dificultosa y opresión en el pecho como resultado de la constricción de los bronquios.

Toxinas: las toxinas son sustancias segregadas por algunos microorganismos que producen efectos nocivos en los organismos vivos atacados. La mayor parte de las toxinas microbianas presentes en el aire de un ambiente interior están constituidas por endotoxinas bacterianas y micotoxinas (procedentes de los hongos). Cuando la bacteria productora de la endotoxina crece, libera toxinas solubles dentro del agua (del humidificador, por ejemplo), a partir de la cual pasan al aire. Se asocia a las endotoxinas con algunos síntomas característicos de las neumonitis hipersensitivas y de la fiebre de los humidificadores.

Se conocen también casos de contaminación de edificios por hongos tóxicos y se han descrito síntomas agudos como resultado de la exposición a las micotoxinas en interiores. Sin embargo, se desconocen los factores que controlan la liberación de las micotoxinas en el medio ambiente. El característico olor a moho de las áreas en las que se hallan presentes hongos es debido a la producción, por parte de éstos, de sustancias volátiles. *Berenguer, M^a José (1995)*. A continuación se muestra la tabla 2.3, en la cual se enuncian las enfermedades de mayor incidencia en los ocupantes de edificios contaminados y su respectiva fuente de emisión.

Tabla 2.3. Contaminantes biológicos característicos y enfermedades de mayor incidencia.

| Contaminante | Enfermedad Producida |
|----------------------------|--------------------------------|
| Actinomyces Thermophilus | Neumonía por hipersensibilidad |
| Aspergillus Sp | Aspergilosis |
| Bacillus Anthracis | Ántrax por inhalación |
| Brucella Melitensis | Brucelosis |
| Chlamydia Psittaci | Psitacosis |
| Coccidioides Immitis | Coccidiciconycosis |
| Diversos Agentes | Coriomeningitis Linfocitaria |
| Histoplasma Capsulatum | Histoplasmosis |
| Kiopsiofia | Infecciones diversas |
| Legionella Pneumophila | Legionelosis |
| Mycobacterium Tuberculosis | Tuberculosis pulmonar |
| Neisseria Meningitidis | Meningitis meningocócica |
| Orthopoxvirus | Viruela |

Fuente: Berenguer, M^a José (1995)

Tabla 2.3. Contaminantes biológicos característicos y enfermedades de mayor incidencia.

| Contaminante | Enfermedad Producida |
|------------------------|--|
| Virus Coxsackie | Infecciones Diversas |
| Virus de la influenza | Gripe |
| Virus de la rabia | Rabia por vía aérea (Casos excepcionales) |
| Virus respiratorios | Infecciones diversas |
| Psoudomonas aeruginosa | Infecciones Diversas |
| Staphylococcus Sp | Neumonía Estafilocócica |
| Staphylococcus Sp | Neumonía Estreptocócica |

2.2.6. Técnicas de eliminación de COVs

En un concepto más amplio, el término de compuestos orgánicos volátiles o COVs no sólo incluye miles de especies químicas que son tóxicas para la salud, como algunas de las ya mencionadas, sino también sustancias precursoras de oxidantes fotoquímicos responsables de la contaminación por humo y niebla (smog), que contribuyen al efecto invernadero y/o a la degradación de la capa de ozono atmosférico. Por otra parte, se ha demostrado que un gran número de COVs son agentes cancerígenos importantes, pero no existe un umbral de exposición claro. Las reacciones humanas que aparecen como consecuencia de la exposición prolongada a una mezcla de COVs frecuentemente presentes en el aire son: cansancio, dolor de cabeza, mareos, tos, piel roja, membranas mucosas secas, ojos, nariz y garganta irritados, pero sin tener todo ello ningún tipo de explicación médica o clínica. Existen

diferentes tecnologías para el control y eliminación de COVs. En la figura 2.1. se muestra un esquema adaptado de Khan y Ghoshal.

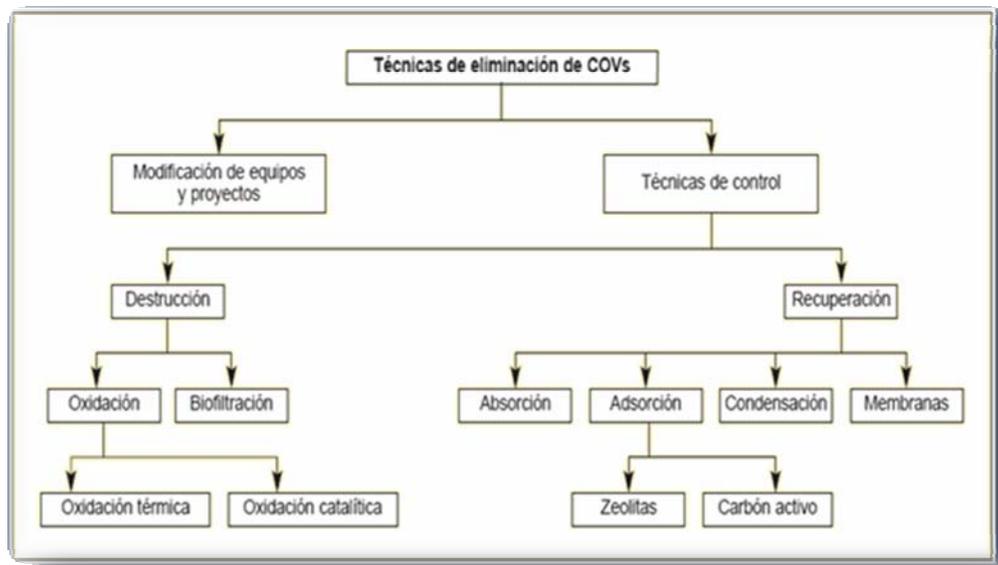


Figura 2.1. Esquema de técnicas de eliminación de los COVs.

Fuente: Aguado Sierra Sonia (2001)

2.2.6.1. Técnicas de control

- Técnicas destructivas:

La oxidación térmica combinada con un sistema de recuperación de calor es una tecnología ampliamente utilizada desde hace varias décadas. Se consigue con ella una destrucción entre el 95 y el 99 por ciento de los COVs introducidos. La concentración de la corriente a tratar puede variar entre 100 y 20.000 ppm, y las temperaturas de trabajo van de 700 a 1.000 °C. El tiempo de residencia nominal varía de 0,5 a 1 s. Los compuestos que están presentes en bajas concentraciones, o que son

difíciles de oxidar, requieren mayor consumo de combustible y mayor tiempo de residencia en el reactor para asegurar su reducción hasta los niveles exigidos. Por otro lado, se evita la utilización de la combustión térmica cuando la concentración de Orgánicos supera en un 25% ciento el límite inferior de inflamabilidad. Aparte de los costes energéticos que conlleva la oxidación térmica, otra desventaja importante es la posible generación de contaminación secundaria por óxidos de nitrógeno, debido a las altas temperaturas requeridas, lo que exige un posterior tratamiento. Los sistemas de oxidación catalítica oxidan directamente los COVs de forma similar a los sistemas de oxidación térmica; la principal diferencia es que aquéllos operan a temperaturas más bajas, entre 350 y 500 °C. Esto es posible debido a la utilización de catalizadores que reducen las necesidades térmicas.

La biofiltración se desarrolló inicialmente para eliminar olores de los gases de deshecho, pero actualmente se ha extendido su aplicación a la eliminación de COVs en procesos industriales. Se basa en la capacidad de los microorganismos para convertir, bajo condiciones aeróbicas, los contaminantes orgánicos en dióxido de carbono, agua y biomasa.

La corriente gaseosa ha de ser tratada previamente: humidificada, enfriada y limpiada de material particulado. Esta tecnología es conveniente para volúmenes de más de 300 m³/min. y concentraciones menores de 5.000 ppm. La principal ventaja es que no transfiere la contaminación a otro medio, y se caracteriza, además, por el bajo consumo de energía.

La biofiltración depende de la biodegradabilidad de los contaminantes. Algunos compuestos pueden tener estructuras que resisten a las reacciones microbianas: la oxidación podría no ser completa, llegándose incluso a formar subproductos más tóxicos que los compuestos originales. Por ejemplo, durante la transformación

aeróbica de tricloroetileno se puede formar como subproducto cloruro de vinilo que es altamente tóxico.

- Técnicas de recuperación:

La condensación es muy eficaz para compuestos orgánicos con puntos de ebullición por encima de 38°C y concentraciones relativamente altas (5.000 ppm). La fuerza impulsora del cambio de fase es la sobresaturación, que se consigue presurizando y/o enfriando la corriente gaseosa contaminada. Para las sustancias con bajo punto de ebullición o presentes en bajas concentraciones estas etapas elevan el costo de operación. En muchas ocasiones se trabaja dentro de los límites de inflamabilidad, de ahí que el gas inerte que haya que utilizar provoque costos adicionales. El producto líquido obtenido debe ser tratado posteriormente para eliminar el agua y separar los distintos compuestos, que son reutilizados, vendidos o quemados. El agua condensada requiere un posterior tratamiento si contiene compuestos orgánicos miscibles.

La absorción separa los COVs de una corriente gaseosa, poniendo en contacto el aire contaminado con un disolvente líquido (agua, aminas, sosa cáustica, hidrocarburos con alto punto de ebullición). Los COVs solubles se disuelven en la fase líquida, y así se depura la corriente de aire. El contacto gas-líquido se realiza en torres de relleno en las que se atomiza el líquido. La capacidad de los sistemas diseñados está entre 50 y 3.000 m³/min., mientras que la concentración de COVs varía entre 500 y 5.000 ppm. Se pueden conseguir eficiencias en la eliminación de COVs entre 90 y 98 por ciento. En general, esta técnica no se aconseja para operaciones discontinuas por su lenta puesta en marcha, pero sí es interesante para corrientes con alto contenido en humedad, que podría reducir las posibilidades de adsorción de carbones activos y zeolitas.

La adsorción puede ser física (fisisorción) o química (quimisorción) y está basada en la interacción entre adsorbato y adsorbente, que, en general, es un sólido microporoso con poros por debajo de 2 nm.

Adsorción basada en carbón activo. La elección del adsorbente adecuado depende de su aplicación, pero el carbón activo, debido a su alta área específica, es uno de los más utilizados. Es un sistema flexible y barato, tanto en costes de operación como de inmovilizado, capaz de tratar una amplia variedad de contaminantes. Su principal inconveniente es que requiere regeneraciones periódicas, de ahí que se dispongan dos líneas en paralelo para usar en alternancia. La regeneración se hace elevando la temperatura, que no puede ser muy alta debido a que el carbón es inflamable. Por otro lado, si la temperatura es insuficiente no hay desorción, el lecho no se regenera y debe reemplazarse. El carbón activo es un buen adsorbente para altas capacidades y para muchos COVs con pesos moleculares entre 40 y 150 y puntos de ebullición entre (35 y 260) °C, e incluso para compuestos halogenados, siempre y cuando la humedad relativa de la corriente a tratar no supere el 60%.

Adsorción basada en zeolitas. Algunos inconvenientes del carbón activo (es inflamable, difícil de regenerar para compuestos pesados, favorece la transformación de algunas sustancias en compuestos tóxicos o insolubles y requiere control de humedad) pueden paliarse con la utilización de zeolitas, que presentan mayor capacidad de adsorción, alta estabilidad térmica y no son inflamables. Las zeolitas son materiales inorgánicos que tienen una estructura cristalina y tamaño de poro fijo; su estabilidad térmica e hidrofobicidad aumentan con la relación Si/Al existente en su composición.

Muchos fabricantes de aparatos de aire acondicionado están incorporando a sus líneas de productos, dispositivos que contienen cierta cantidad de carbón activo o de

zeolitas capaces de retener COVs. La separación con membranas utiliza una estructura basada en compuestos poliméricos semipermeables para separar los vapores orgánicos de la corriente gaseosa. La fuerza impulsora para el flujo de aire es el gradiente de presión a través de la membrana conseguido con ayuda de una bomba de vacío, o bien de un gas de barrido. Las membranas más apropiadas para esta aplicación son de 10 a 100 veces más permeables a los COVs que al aire. Por ejemplo, en algunos casos, la tecnología de membranas con capa fina de polidimetil siloxano puede ser considerada competitiva con las convencionales en las separaciones de vapores de gasolina de las emisiones procedentes de los tanques de almacenamiento. Aunque la recuperación basada en membranas es un sistema con buenos resultados, se encuentra todavía en su etapa experimental; su adaptabilidad comercial depende de diversos factores, tales como su coste, su capacidad de permeación o su diseño para poder tratar una alta variedad de COVs. Se puede decir, como conclusión, que no existe una técnica universal. A la hora de seleccionar el tratamiento más adecuado ha de conjugarse su eficacia con criterios de diseño (estimación de costes, servicios auxiliares y pretratamientos de la corriente) e intervalo de aplicabilidad (tipo de emisión, categoría de VOC, concentración y caudal).

2.2.7. Factores a considerar para la selección de las técnicas de eliminación de Compuestos Orgánicos Volátiles

1. En general, si el reciclado de las sustancias tratadas es posible y económicamente viable, se prefieren las tecnologías no destructivas.

2. Las concentraciones típicamente bajas de COVs con las que se trata hacen que la condensación, por ejemplo, no pueda aplicarse de manera efectiva. Así mismo es necesario asegurar la operación fuera del intervalo de inflamabilidad de la mezcla COV-aire.

3. Una gran variación en el caudal y en la concentración de los efluentes, como la que se produce en los procesos discontinuos, reduce la eficiencia de la recuperación de energía y de la eliminación de los contaminantes.

4. La diversidad de compuestos orgánicos presentes, y de contaminantes en general, a menudo exige una separación previa al tratamiento de eliminación de COVs. Por ejemplo, la presencia de material particulado y sustancias halogenadas suele complicar los tratamientos.

5. En muchas aplicaciones, las altas temperaturas de descarga de los gases hacen necesario su enfriamiento previo para la condensación o adsorción, mientras que la oxidación térmica o catalítica se benefician de estas temperaturas. Modificaciones en las condiciones de operación, sustitución de materias primas, cambio de equipos, reducción de gases de escape, entre otros., son aplicables únicamente al proceso industrial. *Aguado Sierra Sonia (2001)*

2.2.8. Efectos sobre la salud relacionados con el aire del interior de un edificio

En general, los contaminantes presentes en el aire ambiente penetran en el organismo por inhalación y por tanto afectan inicialmente al tracto respiratorio, pudiendo también ser absorbidos y afectar a otros órganos o acumularse en distintos tejidos. Asimismo, puede haber contaminantes que provoquen irritación en los ojos o que generen problemas dérmicos (erupciones y picores). Los efectos sobre el tracto respiratorio son irritación de nariz, garganta y bronquios, con posibilidad de provocar cambios en la reactividad bronquial, o liberación de un mediador inducida por alérgenos que conducen a la aparición de rinitis, asma o neumonitis hipersensitivas. Por otra parte los contaminantes microbianos pueden provocar enfermedades infecciosas. Los síntomas que se relacionan con una deficiente calidad del aire en el interior de un edificio son: dolor de cabeza, mareos, náuseas, fatiga, piel seca,

irritación de ojos, congestión de senos nasales y tos. Es a menudo difícil diferenciar entre los causados directamente por el medio ambiente y los de origen psicológico. No hay que olvidar que un aire de pobre calidad provoca discomfort, pudiendo desencadenar reacciones psicológicas complejas, cambios de humor, de estado de ánimo y dificultades en las relaciones interpersonales. *Guardino S. Xavier (2003)*

2.2.9. Confort térmico y Ventilación

El mayor número de quejas referentes a la calidad del aire del interior de un edificio entran dentro del apartado de confort térmico y ventilación. Según el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), en más del 50% de estudios realizados en edificios, los problemas eran causados por una inadecuada ventilación. Se basa en un equilibrio entre la actividad física y la ropa que se utiliza, por un lado, y la humedad relativa, la temperatura y velocidad del aire y la temperatura radiante media, por otro. La American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) ha desarrollado estándares, aplicables a espacios cerrados, que deben garantizar una situación de confort al 90% de la población.

En general, el margen de valores considerados aceptables es relativamente estrecho, dada la relación que existe entre unas y otras variables. Un ligero aumento en la velocidad del aire, por ejemplo, puede desencadenar una serie de quejas aunque la temperatura se mantenga dentro de los límites aceptables. Paralelamente, cuando la ventilación es incorrecta como consecuencia de un aporte insuficiente de aire fresco exterior, puede haber una acumulación de contaminantes de orígenes distintos hasta unos niveles que resulten molestos para sus ocupantes. El aporte de aire exterior ha de ser suficiente para diluir los contaminantes hasta niveles que estén por debajo de la percepción humana y, evidentemente, de los considerados perjudiciales para la salud. *Rodríguez E. (2003)*

2.2.10. Guías y concentraciones promedio permitidas

Diferentes organizaciones internacionales como la OMS y el CIBC (International Council of Building Research), privadas como la ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers), y algunos países como Suecia (The Swedish Council of Building Research), Estados Unidos, Canadá y Australia han desarrollado guías y estándares de exposición. Referencias de la necesidad de renovar el aire de ambientes cerrados con aire fresco se conocen ya desde mediados del siglo XVIII recomendándose aportaciones de aire fresco mínimas, por ocupante, para diluir las concentraciones de biofluentes humanos y evitar las molestias debidas a malos olores.

En los años 70, ASHRAE publica diversos trabajos recomendando una aportación de aire fresco mínima de $34 \text{ m}^3/\text{h}$ por persona para evitar los malos olores y un mínimo absoluto de $8.5 \text{ m}^3/\text{h}$ por persona para mantener la concentración de dióxido de carbono por debajo de 2500 ppm, que es la mitad del límite de exposición promedio permisible en un ambiente laboral. En el más reciente ASHRAE Standard 62-1989 se recomienda un mínimo de $25.5 \text{ m}^3/\text{h}$ por persona para aulas de clase, $34 \text{ m}^3/\text{h}$ para oficinas y $42.5 \text{ m}^3/\text{h}$ para hospitales (zona de enfermos). Este estándar recomienda también aumentar dichos volúmenes cuando hay problemas de mezcla del aire en la zona de respiración o fuentes inhabituales de contaminación. Por otro lado, no hay que olvidar que la finalidad primaria de un sistema de aire acondicionado en un edificio de oficinas es proporcionar un buen nivel de confort térmico. Según ASHRAE 55-1981, la temperatura interior debe mantenerse entre 20 y 24°C en invierno y entre 23 y 26°C en verano. Este estándar no especifica la humedad relativa, que se considera que debe estar entre el 30 y el 60%. En la Tabla 2.4. Se presentan los valores indicados en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Tabla 2.4. Condiciones establecidas por la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

| | |
|---------------------------|--|
| Suministro de Aire | > 30 – 50 m ³ /hora/trabajador o renovación total de aire: > 6 veces/hora (trabajos sedentarios) > 10 veces/hora (trabajos con esfuerzo físico) |
| Velocidad del Aire | > 15 m/min (temperatura normal) > 45 m/min (ambiente caluroso) |
| Temperatura | 17 a 22 °C (Trabajos sedentarios) 15 a 18 °C (Trabajos ordinarios) 12 a 15 °C (trabajos que exijan esfuerzo físico) |
| Humedad relativa | 40 a 60% > 50% (si se puede generar electricidad estática) |

Fuente: Berenguer, M^a José (1995)

El sistema de aire acondicionado ha de asegurar que el aire de ventilación contenga concentraciones aceptablemente bajas de contaminantes, para lo cual debe estar adecuadamente diseñado y mantenido, ya que puede reducir los contaminantes hasta un límite aceptable por dilución con aire limpio exterior o por eliminación de los mismos mediante filtración. Según ASHRAE, un aire interior aceptable es aquel en el cual no hay contaminantes conocidos en concentraciones nocivas según determinan las autoridades competentes y una mayoría sustancial (80% o más) del personal expuesto no exprese insatisfacción. Evidentemente, la definición es imprecisa, no sólo en cuanto a niveles aceptables, sino también en cuanto al concepto de insatisfacción.

El ASHRAE estándar 62-1989 recomienda una concentración de dióxido de carbono máxima de 1000 ppm para lograr un mínimo confort, en el bien entendido de que esta concentración no representa ningún peligro para la salud. No existen valores de referencia para regular la presencia de microorganismos en el ambiente, aunque el Comité para Bioaerosoles de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) ha publicado recientemente una Guía para la Valoración de Bioaerosoles en el Ambientes Interiores que puede utilizarse como punto de partida.

Para aquellos contaminantes químicos que no tienen establecido un valor de referencia ni se dan guías, se acepta (ASHRAE) que una concentración 1/10 TLV no produce un incremento significativo del número de quejas entre los miembros de un colectivo de trabajo no industrial. Este límite puede no ser suficiente para proporcionar un ambiente satisfactorio a individuos que, por ejemplo, sean extremadamente sensibles frente a un irritante u otro contaminante concreto. *Berenguer, M^a José (1995)*

2.3. Definición de términos

Ambiente interior: Se define como ambiente interior a la atmósfera situada en lugares cerrados, tales como viviendas o edificios, o en recintos industriales. Ej.: edificios de oficinas, hospitales, escuelas, bibliotecas, hogares, etc.

Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs): son todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura. Suelen presentar una cadena con un número de carbonos inferior a doce y contienen otros elementos como oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Su número supera el millar, pero los más abundantes en el aire son metano, tolueno, n-butano, i-pentano, etano, benceno, n-pentano, propano y etileno.

Síndrome del edificio enfermo: conjunto de síntomas diversos que padecen algunos individuos que habitan o trabajan en un mismo edificio, generalmente de los denominados sellados. Lo que distingue al Síndrome de Edificio Enfermo es que los malestares suelen desaparecer después de alejarnos del aire insano. (*Guardino s. Xavier (2003)*)

Concentración Ambiental Permisible (CAP): es la concentración promedio ponderada en el tiempo de sustancias químicas a las que se cree pueden estar expuestos los trabajadores, repetidamente durante ocho horas diarias y cuarenta horas semanales sin sufrir daños adversos para su salud.

Límite de Exposición Breve (LEB): es la contaminación del contaminante que nunca debe excederse durante la jornada de trabajo y a la cual se cree que pueden estar expuestos los trabajadores durante un periodo de quince minutos máximos sin sufrir:

- a) Irritación.
- b) Daño tisular crónico o irreversible.
- c) Narcosis de intensidad suficiente como para aumentar la propensión a accidentes.
- d) La reducción de su capacidad para ponerse a salvo por medios propios.

Índice Biológico de Exposición (IBE): son valores referenciales que se usan para evaluar la exposición a riesgos potenciales de la salud en el campo de la higiene ocupacional. Los IBE representan los niveles determinantes que tienen mayor probabilidad de ser observados, en especímenes colectados de un trabajador saludable, que ha sido expuesto a sustancias químicas en la misma extensión a la que estaría un trabajador sometido a una exposición CAP. *COVENIN 2253-2001*

Calidad del aire: la calidad del aire puede ser definida con base en la presencia de agentes externos a la composición estándar del aire (70,1% N₂ – 20,9% O₂ – 0,9% Ar – 0,1% otros gases inertes, en volumen). Para ambientes ocupados por personas, en donde no se tienen procesos productivos o de transformación, es común encontrar que el único agente externo a la composición estándar del aire es el Dióxido de Carbono (CO₂), ya que el CO₂ es un agente orgánico producido por la respiración humana. La norma COVENIN 2253:2001, señala que para el CO₂ la concentración ambiental permisible (CAP) es de 5000 ppm y el Límite de Exposición Breve (LEB) es de 30000 ppm.

Acetato de Vinilo: es uno de los COVs más comunes en el interior de edificios, ya que sus principales fuentes de emisión son el papel, polímeros, adhesivos, embalajes, construcción, pinturas, textiles, revestimientos entre otros.

Ionización: La ionización tiene lugar cuando una molécula absorbe la alta energía de la luz UV y se excita, provocando la pérdida temporal de un electrón cargado negativamente y la formación de un ión cargado positivamente. El gas pasa a estar eléctricamente cargado. En el PID, estas partículas cargadas producen una corriente que se amplifica y se muestra en el medidor como "ppm" (partes por millón) o incluso "ppb" (partes por billón).

Factor de respuesta PID: Cuando un detector de fotoionización ioniza un compuesto, genera una corriente. Esta corriente constituye una respuesta que es característica de un compuesto específico y que está influenciada por su estructura molecular. La pendiente de la curva de respuesta (definida en picoamperios por ppm) es diferente para cada compuesto químico. Para informar correctamente la concentración de un gas dado del cual se obtiene una muestra, el Detector Multigas Sirius usa los factores de respuestas. *MSA Instrument Division.*

2.4. Bases legales

En Venezuela existen una serie de normativas y reglamentos que rigen lo concerniente a calidad del aire en espacios interiores, así como también las concentraciones permisibles de diversos gases contaminantes en el interior de los mismos, y el procedimiento mediante el cual se lleva a cabo las mediciones necesarias para la realización de un trabajo de investigación como el presentado, las utilizadas para el presente proyecto fueron las siguientes:

- Norma COVENIN 2253-2001: “Concentraciones Permisibles de Sustancias Químicas en Lugares de Trabajo e Índices Biológicos de Exposición” (tercera revisión). Esta norma muestra los límites permisibles de una gran variedad de compuestos químicos que se encuentran en el interior de ambientes laborales. Con la implementación de esta norma se establecen los límites permisibles de los gases medidos en la Biblioteca objeto de estudio, y se comparan con las magnitudes obtenidas experimentalmente.
- Norma COVENIN 3159-1995: “Calidad de Aire. Aspectos Generales. Unidades de Medición”. Esta norma proporciona información valiosa acerca de las unidades que se deben manejar al momento de medir concentraciones de gases, y los parámetros de confort, esta norma se utilizó para el proceso de expresión de unidades de cada magnitud medida y estudiada.
- Norma COVENIN 2250-2000: “Ventilación de los Lugares de Trabajo” (primera revisión). Esta norma muestra los requerimientos o requisitos mínimos fundamentales para el diseño, operación, mantenimiento y evaluación de los sistemas de ventilación de los lugares de trabajo de acuerdo a sus fines específicos. Su uso en la presente investigación se basa en la verificación,

evaluación y comparación del sistema de aire acondicionado de la zona crítica de la Biblioteca estudiada, con los aspectos planteados en la misma, para asegurar el buen funcionamiento del sistema en cuanto a acondicionamiento y recirculación del aire en dicho ambiente interior.

- Norma COVENIN 3513-1999: “Chimeneas y Ductos. Determinación de la Concentración de Compuestos Orgánicos Gaseosos Totales”. Dicha norma establece lineamientos generales del proceso de medición, entre las cuales se puede resaltar la ubicación de los puntos de muestreo, que es un factor determinante en cualquier proceso de medición de parámetros de concentración de gases contaminantes.
- Norma COVENIN 1649-1996: “Chimeneas y Ductos. Determinación de la Ubicación y Número Mínimo de Puntos de Muestreo”: dicha norma se utilizó para determinar los puntos longitudinales y transversales de muestreo, y así definir la matriz de muestreo mediante la cual se llevaría a cabo el proceso de medición de los parámetros de confort (temperatura, velocidad y caudal de aire, así como también la humedad relativa del recinto).
- Norma COVENIN (3631-2000): “Guía para la Expresión de la Incertidumbre de las Mediciones”. Con esta norma se determina el número de veces que se debe medir en un punto de muestreo, dicha norma es de gran ayuda cuando se desea obtener la magnitud de las concentraciones de compuestos químicos basado en mediciones repetidas, ya que siguiendo los procedimientos enunciados en la misma, se puede obtener un valor más cercano al valor real.

La existencia de normas y guías internacionales también facilitó la experimentación correspondiente a esta investigación, las normas y guías utilizadas fueron:

- ASHRAE Standard 62.1, 2004, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
- ASTM D6245-98, 2002, Using Indoor Carbon Dioxide Concentration to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation.
- CENAM (Centro Nacional de Metrología), Guía para estimar la incertidumbre de la medición.

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo y diseño de la investigación

El trabajo de investigación presentado es de Tipo descriptivo, y se ubica en el contexto esquemático de un Proyecto Factible, que en forma específica plantea la determinación de la calidad del aire en el interior de la Biblioteca universitaria “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad anteriormente mencionada, así como también se plantean técnicas de reducción de concentraciones de los (COVs), que generan contaminación del aire que circula dentro de dicha Biblioteca.

En esta investigación se estudiaron todos los elementos y factores que tuvieran incidencia directa o indirecta sobre el problema planteado, es decir, se estudió por separado cada una de las variables encontradas en el contexto del problema, en pocas palabras, determinó el nivel de contaminantes presentes en el ambiente interior de la Biblioteca estudiada, el tipo de contaminantes, los efectos negativos de estos contaminantes sobre la salud humana de la población que allí se encuentra diariamente, así como también las posibles causas y el planteamiento de soluciones pertinentes para mejorar la calidad del aire del recinto objeto de estudio.

La investigación está sustentada en una etapa documental, que tendrá como finalidad ampliar y profundizar el conocimiento mediante la consulta de trabajos previos e información teórica existente acerca de cualquier aspecto relacionado al contexto de la investigación, lo cual permitirá la orientación de vías de solución al problema planteado.

En cuanto al diseño de la investigación de este trabajo es de **campo**, ya que la información se obtendrá directamente del contexto operacional donde funcionan los equipos, en este caso, del Sistema de Aire Acondicionado ubicado en la Biblioteca “Dr. Luis García Pelissier”, Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui. Paralelo a esto se determinarán la concentración de los gases presentes en la biblioteca, mediante una matriz de muestreo definida de acuerdo a las variables del contexto en estudio.

3.2 Alcance de la investigación

Este trabajo de investigación se fomenta en la evaluación de la calidad del aire mediante el monitoreo de la concentración de los gases contaminantes en el ambiente interior de la biblioteca “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui, utilizando el equipo *Detector Multigas Sirius, marca MSA*, para el monitoreo de las concentraciones de los gases contaminantes presentes en dicho recinto, así como también el *Datalogger DO2003* marca *Delta Ohm*, para llevar a cabo las medidas en cuanto a confort térmico (Temperatura, Humedad relativa y velocidad del aire) del lugar, esto no sólo con la finalidad evaluar de la calidad del aire de la Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier”, sino también proponer estrategias para el mejoramiento de la misma mediante la reducción de la concentración de los gases que enrarecen el ambiente estudiado, lo cual repercute positivamente en la salud de los usuarios del recinto (Empleados y estudiantes), las estrategias proporcionadas por esta investigación pueden ser aplicadas no solo en la Biblioteca en estudio, sino también en cualquiera de instalaciones de la Universidad de Oriente, para el mismo fin.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Equipos

Para la investigación se tomó como referencia una población compuesta por todos los elementos (físicos y/o materiales) constitutivos del Sistema de Aire Acondicionado, los cuales estarán conformados por todos los equipos del sistema que permitirán su estudio por separado.

La muestra a estudiar estará representada por los equipos de aire acondicionado ubicados en el área crítica, es decir el área con mayor índice de contaminantes (COVs), dicha área será definida luego del diagnóstico preliminar de dicho índice en cada una de las áreas que conforman la Biblioteca en estudio, es decir se realizará un muestreo y análisis preliminar de las concentraciones de (COVs) presente en todas las áreas de la Biblioteca con el fin de obtener el área crítica de estudio correspondiente a la “muestra” .

3.3.2. Personas

Para complementar el diagnóstico del índice de la concentración de los gases presentes en el ambiente interior del edificio, se realizará una encuesta a los usuarios (Empleados y estudiantes) de la biblioteca en estudio, con la finalidad de medir el nivel de satisfacción en cuanto a calidad del aire y confort térmico. Según las estadísticas de servicio proporcionadas por la Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier”, la población estudiada es de 8035 personas conformada por los 8000 estudiantes que frecuentan las instalaciones y los 35 empleados que laboran en ella.

Bajo esta premisa, la muestra estudiada de personas se calculó de la siguiente manera:

Según (MARCELO ROJAS C. 2002), el número de personas que se necesita para conformar una muestra (n) que asegure un error estándar menor a 0.01, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{n'}{1 + n'/N} \quad (3.1)$$

$$n' = \frac{S^2}{V^2} \quad (3.2)$$

$$S^2 = p(1 - p) \quad (3.3)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

n' = Tamaño de la muestra sin ajustar.

N = Tamaño de la población.

S^2 = Varianza de la muestra.

V^2 = Varianza de la población

p = Probabilidad de ocurrencia (0.9). Valor establecido por el autor

α = Error estándar (0.015). Valor establecido por el autor

$V = \alpha^2 = (0.015)^2 = 0.00225$

$$S^2 = 0.9 (1 - 0.9) = 0.09$$

$$n' = \frac{0,09}{0,00225} = 400$$

$$n' = \frac{400}{1 + 400/8035} = 381$$

$$n = 381$$

En conclusión, ya que $n = 381$, para esta investigación se tomará en cuenta una muestra de 381 personas, repartidas en 346 estudiantes y 35 empleados que laboran en la Biblioteca.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron diferentes técnicas e instrumentos de recolección de datos, las cuales se presentan a continuación:

Técnica de Encuesta: la encuesta fue una herramienta de gran ayuda debido a que realizándola a los estudiantes y empleados que hacen vida dentro de la Biblioteca se pudo obtener información importante en cuanto a las condiciones de confort térmico en los diferentes ambientes que conforman la biblioteca, dicha encuesta se realizó utilizando el cuestionario como herramienta para conocer la opinión de los usuarios, con el fin de tener una noción clara y precisa de la problemática ambiental que actualmente presenta la Biblioteca estudiada en el interior de sus instalaciones, así como de la de operación de los equipos de aire acondicionado del área crítica objeto de estudio y lograr el diagnóstico de la situación actual de la Biblioteca en cuanto a concentraciones de los contaminantes y condiciones de confort térmico.

Técnica de Observación: Esta técnica se realizó directamente en campo (Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier”, y consintió en observar el estado físico en el cual se encuentran las instalaciones de los distintos ambientes y del sistema de aire acondicionado que conforman la Biblioteca en estudio.

Entrevistas con el Personal de la Biblioteca: Mediante la utilización de esta técnica se pudo obtener gran parte de la información necesaria para el desarrollo del presente trabajo. La información aportada por el personal administrativo y de

mantenimiento permitió conocer con detalle los trabajos realizados a las instalaciones y a los equipos de aire acondicionado, así como también las condiciones de funcionamiento de éstos (horas de uso, mantenimiento preventivo, estado de los mismos, etc.), por otra parte se obtuvo información acerca de la jornada de trabajo (horas de duración, cantidad de personal que labora, etc.), así como también se logró obtener información acerca de las jornadas de limpieza y confort dentro del recinto.

3.5 Técnicas de análisis de datos

Para realizar el diagnóstico de la situación actual de los distintos ambientes y del sistema de aire acondicionado de la zona crítica, se utilizaron: la técnica de medición por fotoionización PID, matriz de muestreo, medición de las condiciones de confort (temperatura, humedad y caudal) estadística descriptiva entre otras:

Documentación: la documentación formó parte importante de la investigación ya que antes de empezar a desarrollar el proyecto planteado se llevó a cabo un proceso de revisión de documentos, planos, manuales de los equipos de medición tanto de concentración de los gases (*manual de operaciones del Detector Multigas Sirius*), como de las condiciones de confort (*manual de operación Datalogger DO2003*), normativa correspondiente al tema en estudio, entre otros documentos; esto con el fin extraer información que se tomó como punto de partida para esta investigación, así como también para contar con el apoyo técnico necesario para la elaboración de la misma.

Técnica de medición por fotoionización PID: Esta técnica se utilizó al momento de determinar la presencia de los gases contaminantes y su concentración respectiva, en la biblioteca objeto de estudio, dicha técnica consistió en la medición de los gases contaminantes de los distintos ambientes que constituyen el recinto en estudio, esto mediante un PID (detector de fotoionización), este mide COV y otros

gases tóxicos a bajas concentraciones que van desde las ppb (partes por billón) hasta las 10.000 ppm (partes por millón o 1% en volumen). Dicha técnica de medición de gases fue de vital importancia debido a que un PID es un monitor de alta sensibilidad y amplio espectro, como un monitor LEL de bajo nivel.

Matriz de muestreo: una vez seleccionada la zona crítica mediante el diagnóstico preliminar, se procedió a realizar la matriz de muestreo, dicha herramienta estadística se llevó a cabo tomando en cuenta las variables dependientes e independientes existentes en el contexto experimental, aquí se definieron factores importantes como el número de mediciones y los puntos de muestreo, con el fin de acercarse al máximo posible los datos obtenidos al valor real y minimizar así el error presente en cada medición.

Técnica de Medición de las Condiciones de confort: Para llevar a cabo esta técnica se utilizó un instrumento portátil llamado *Datalogger DO2003* para medir la temperatura, humedad así como también el caudal del aire que circula en el área crítica seleccionada de la biblioteca, esto permitió ayudar con el diagnóstico del funcionamiento actual de los equipos del sistema de aire acondicionado en estudio, para así luego proponer las técnicas y estrategias necesarias para la disminución de las concentraciones de los (COVs) contaminantes del espacio estudiado, o lo que es lo mismo para lograr el mejoramiento de la calidad del aire del ambiente interior estudiado.

Gráficas: las gráficas utilizadas para la aplicación de esta técnica fueron: gráficas de línea, circulares, barras entre otras. Dicha técnica se utilizó para representar toda la información recabada en las encuestas, mediciones de concentraciones, mediciones de las condiciones de control, entre otros, lo cual, facilitó la explicación y el análisis de los resultados.

Estadística Descriptiva: Es una herramienta que permite describir y analizar los datos obtenidos mediante las encuestas y entrevistas realizadas.

Luego de la recolección y análisis de los datos se seleccionaron las estrategias para lograr la reducción de la concentración de los gases contaminantes (COVs), en el interior de la Biblioteca “Dr. Luís García Pellisier” de la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, con la finalidad de mejorar la calidad del aire de dicho recinto.

3.6 Etapas de la investigación

Para la realización del presente trabajo fue necesario dividir el mismo en ocho (8) etapas, las cuales se explican en con detalle a continuación:

3.6.1 Revisión bibliográfica

Esta etapa comprende la búsqueda de información, de antecedentes, referencias y documentación en general que sustente el tema de trabajo de grado propuesto y se recopila toda información que se vincule o sea de ayuda para el desarrollo de este proyecto. Para la búsqueda de esta información se acudió a artículos de revistas, documentos, libros, manuales operacionales, normativa correspondiente al tema, Internet, entre otros. También se obtuvo información de trabajos previos (tesis de grados o informes), los cuales sirvieron como referencia para asentar las bases teóricas necesarias para el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados.

3.6.2 Diagnóstico del Índice de la Concentración(S) de los Gases Presentes en el Ambiente a Estudiar

Esta etapa comprende el estudio preliminar de forma generalizada de toda la Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” de la Universidad de Oriente, Núcleo

Anzoátegui, dicho estudio se refiere al confort y a la presencia de gases contaminantes presentes en el interior del recinto ya mencionado. Para llevar a cabo esta etapa y lograr el diagnóstico del índice de las concentraciones de los gases que se encuentran en la Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” de la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, se procedió a lo siguiente:

3.6.2.1 Descripción general del edificio (Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui)

El edificio está provisto de un área de construcción de 7.000 m² distribuida en seis niveles, los cuales son: Nivel -1.95, Nivel +0.15, Nivel +2.25, Nivel +4.35, Nivel +6.45, +7.40, en dichos niveles funcionan diferentes salas de la Biblioteca y otras dependencias de la Universidad de Oriente. A continuación se describe cada nivel que conforman el edificio y la distribución de las salas de biblioteca y las otras dependencias en los mismos:

Nivel 1 (-1,95): Indesa, Fondo Editorial, Reproducción; Extensión Universitaria, Cronista, Soudo, Aspudo, y Relaciones Institucionales.

Nivel 2 (+0,15): Tecnología Educativa, Área de Dirección, Procesos Técnicos, Biblioteca Bolivariana, Atención al Público.

Nivel 3 (+2,25): Sala1, Sala 2 (Referencia y Tesis), Sala de Publicaciones Periódicas, Recepción, Sala Kiosco Informático.

Nivel 4 (+4,35): Sala Estanterías de libros, Sala estanterías de Tesis, Sala 3.

Nivel 5 (+6,45): Sala Estudio, Sala de Lectura Hemeroteca, Sala Estantería Hemeroteca, Sala de Investigación Hemeroteca.

Nivel 6 (+7,40): Sala Multimedia “Luís Manuel Peñalver”, Sala Audiovisual.

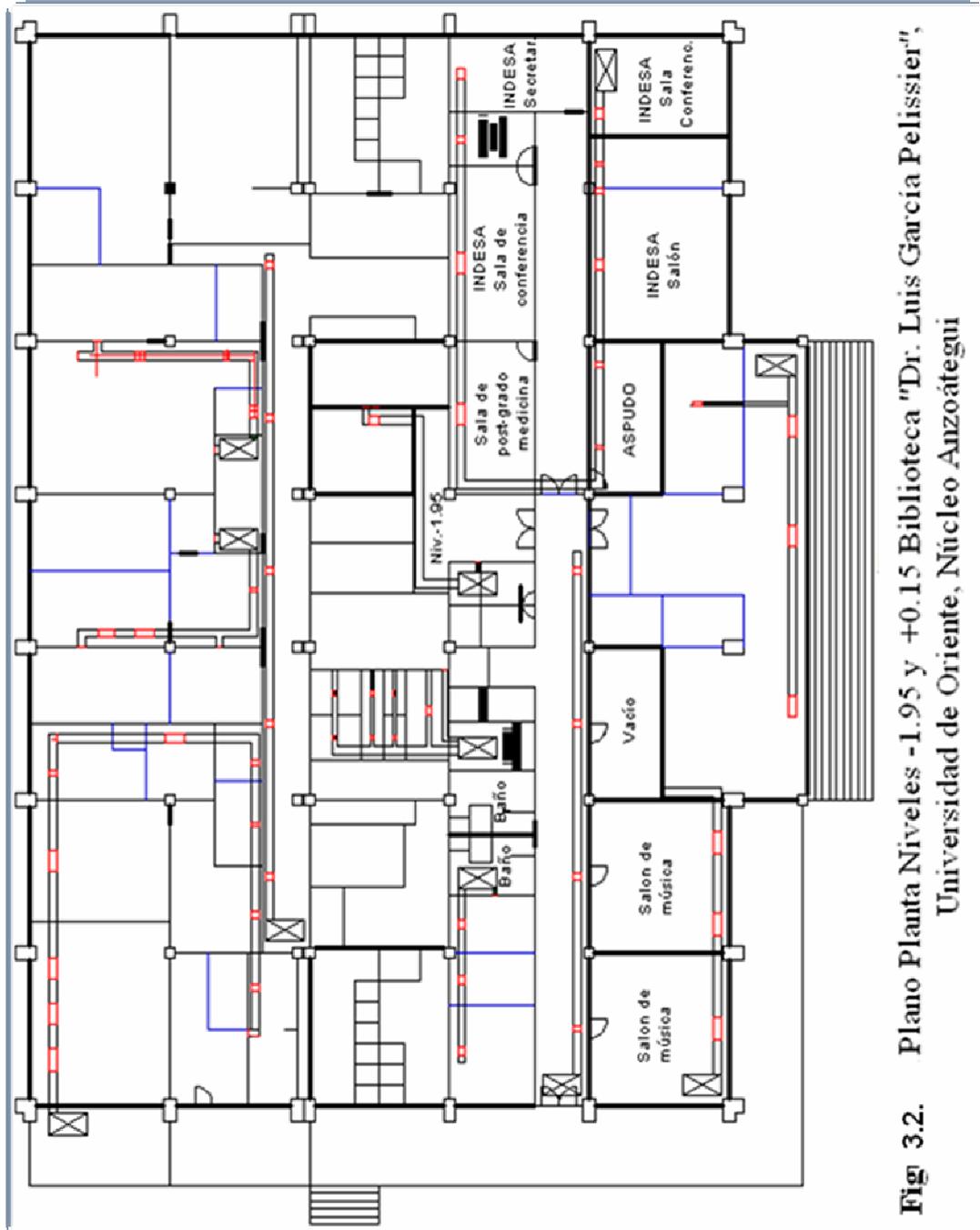
La figura 3.1 que se muestra, corresponde a la vista frontal de la biblioteca en estudio:



Figura 3.1. Vista frontal de la Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier, de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui”

Fuente: El Autor. (2009)

La Figura 3.2 muestra un plano de planta y esquema de las instalaciones de aire acondicionado correspondientes al Nivel 1 (-1,95) y Nivel 2 (+ 0,15) del edificio de la biblioteca, donde se puede observar las unidades de evaporación que distribuyen el aire a través de ductos de Cloruro Polivinílico (PVC) a las diferentes salas correspondiente a esos niveles como son en el Nivel 1: Indesa, Reproducción, Fondo Editorial, Salas de Estudiantina y Agrupación Llanera, Soudo, Aspudo, Extensión Universitaria, Cronista, Relaciones Institucionales, Sala de Investigación Indesa, Archivo; y en el Nivel 2: Tecnología Educativa, Áreas de Dirección, Procesos Técnicos, Biblioteca Bolivariana.



**Fig 3.2. Plano Planta Niveles -1.95 y +0.15 Biblioteca "Dr. Luis García Pelissier",
Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui**

El resto de planos correspondientes al Nivel 3 (+2,25), Nivel 4 (+4,35), Nivel 5 (+6,45) y Nivel 6 (+7,40) se muestran en el anexo A.

3.6.2.2. Realización de encuestas

En este caso las encuestas sirvieron de apoyo fundamental para la detección del área mas critica en cuanto a contaminación ambiental de la Biblioteca en estudio, en dichas encuestas se recoge información en cuanto a la opinión de los usuarios en general (estudiantes y empleados), acerca del estado de las instalaciones, de los sistemas de aire acondicionado, horas de visita y de jornada laboral, área mas cómoda en cuanto a confort se refiere, entre otras, paralelo a ello se realizó un cuestionario a la directora de la Biblioteca en estudio, con el fin de obtener información acerca del flujo de personas, el mantenimiento realizado a los sistemas de aire acondicionados de la misma, entre otros,. Cabe destacar que se realizaron dos tipos de encuesta, la primera dirigida hacia el personal laboral o empleados, (administrativo, encargados de las áreas de mantenimiento, entre otras.), la segunda dirigida a los estudiantes que visitan las instalaciones con el fin de conocer su impresión acerca del confort térmico que ofrece el recinto a todo tipo de usuario. A los fines de cumplir con este requisito se elaboraron cuatro (4) tipos cuestionarios dirigidos tanto a empleados como a estudiantes, a la directora del Edificio y al personal de mantenimientos, dichos cuestionarios se muestran en el anexo C. A continuación se muestra la tabla 3.1, la cual contiene el número de usuarios a los cuales se les aplicaron los cuestionarios anteriormente mencionados:

Tabla 3.1. Numero de usuarios encuestados

| Tipo de Usuario | N° de usuario consultado |
|-----------------|--------------------------|
| Empleados | 35 |
| Estudiantes | 346 |

Fuente: El Autor (2009)

3.6.2.3. Identificación del gas a medir

El gas de interés para la presente investigación, debe ser aquel que, aparentemente, esté sobre los niveles máximos permisibles y debe ser una sustancia química a la que el empleado y los estudiantes en general se encuentren potencialmente expuestos. Es necesario considerar que las emisiones de contaminantes varían dependiendo del tipo de entorno en el cual se encuentren. Las sustancias a muestrear se definen con la información teórica que se tenga sobre las mismas y sobre su existencia en el ambiente laboral.

Para identificar el gas que se debía medir en la Biblioteca objeto de estudio, se llevó a cabo un proceso de selección en el cual se tomaron en cuenta los siguientes factores:

3.6.2.3.1. Gases que el equipo (Detector multigas Sirius) puede medir:

El detector multigas Sirius es un detector PID, el cual puede medir compuestos orgánicos como: benceno, tolueno y xilano, y, además, ciertos compuestos inorgánicos como: amoníaco y ácido sulfhídrico. Como regla general, si los compuestos que se están midiendo o detectando contienen un átomo de carbono (C), se puede usar un PID. Sin embargo, esto no se cumple siempre, porque el metano

(CH₄) y el monóxido de carbono (CO) no pueden detectarse con un PID. (MSA, 2004).

Consideraciones Importantes al momento de determinar que gas puede determinar el detector multigas Sirius:

- Si El factor de respuesta del gas a medir debe ser inferior a 10 el Detector multigas Sirius es la forma adecuada para medir dicho gas.
- Si el potencial de ionización (PI) del gas es inferior a la salida de eV de la lámpara utilizada, entonces la sustancia puede ser medida con el PID.

La tabla 3.2. mostrada a continuación, contiene los gases más comunes que el detector PID Sirius puede detectar:

Tabla 3.2. Algunos gases que un Detector PID puede medir

| Gas | Formula molecular |
|--------------------------------|---|
| Benceno | C ₆ H ₆ |
| Tolueno | C ₆ H ₅ CH ₃ |
| Cloruro de vinilo | H ₂ C=CHCl |
| Hexano | C ₆ H ₁₄ |
| Amoníaco | NH ₃ |
| Isobutileno | C ₄ H ₈ |
| Combustible A para la aviación | ... |
| Estireno | C ₈ H ₈ /C ₆ H ₅ CH=CH ₂ |
| Alcohol propílico | C ₃ H ₈ O |
| Mercaptanes | ... |
| Tricloroetileno | C ₂ HCl ₃ /ClCH=CCl ₂ |
| Percloroetileno | C ₂ Cl ₄ |
| Óxido de Propileno | CH ₃ CHCH ₂ O |
| Fosfamina | PH ₃ |
| Propilamina | CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -NH ₂ |

| | |
|-------------------|---|
| Acetato de vinilo | $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH}=\text{CH}_2$ |
| Acetaldehído | $(\text{H}_3\text{CC}(=\text{O})\text{H})$ |

Fuente: MSA (2004)

La tabla 3.3. Muestra algunos gases comunes que los PID no pueden medir:

Tabla 3.3. Gases que un Detector PID no puede medir

| <i>Gas</i> |
|--------------------------------|
| <i>Oxígeno</i> |
| <i>Nitrógeno</i> |
| <i>Dióxido de Carbono</i> |
| <i>Dióxido de Sulfuro</i> |
| <i>Monóxido de Carbono</i> |
| <i>Metano</i> |
| <i>Fluoruro de Hidrógeno</i> |
| <i>Cloruro de Hidrógeno</i> |
| <i>Flúor</i> |
| <i>Hexafluoruro de Sulfuro</i> |
| <i>Ozono</i> |

Fuente: El Autor (2009)

3.6.2.3.2. Gases que teóricamente deberían alojarse en el interior de ambientes laborales

Al momento de seleccionar los gases que se debían medir para el desarrollo de la presente investigación, se procedió a la revisión documental de normas, artículos, libros y tesis, referentes al tema de contaminantes presentes en el interior de los edificios, específicamente en ambientes laborales, con el fin de saber que contaminantes se podrían encontrar y sus principales fuentes de emisión en la Biblioteca a estudiar, dichos documentos reflejan que la contaminación en el interior tiene diferentes orígenes, los cuales son: los propios ocupantes, los materiales inadecuados o con defectos técnicos utilizados en la construcción del edificio; el trabajo realizado en el interior; el uso excesivo o inadecuado de productos normales

(plaguicidas, desinfectantes, productos de limpieza y encerado); los gases de combustión (procedentes del tabaco, de las cocinas, de las cafeterías y de los laboratorios); y la conjunción de contaminantes procedentes de otras zonas mal ventiladas que se difunden hacia áreas vecinas, afectándolas. Se debe tener en cuenta que las sustancias emitidas en el aire interior tienen muchas menos oportunidades de diluirse que las emitidas en el aire exterior debido a las diferencias de volumen de aire disponible.

Entre los contaminantes más habituales en el aire interior se encuentran, aparte de los procedentes del exterior, los metales, el amianto y otros materiales fibrosos, el formaldehído, el ozono, los plaguicidas y los compuestos orgánicos en general, el radón, el polvo doméstico y los aerosoles biológicos. A ellos se añade una amplia variedad de microorganismos, como los hongos, las bacterias, los virus y los protozoos.

El aglomerado se fabrica a partir de partículas finas de madera (aproximadamente de 1mm) que se mezclan con resinas de formaldehído ureico (FU, entre 6 y 8 % del peso) y se prensan en forma de paneles de madera. Se utiliza mucho para suelos, paneles de pared, estanterías y piezas de armarios y muebles. La fuente principal de formaldehído en todos estos productos es el que queda atrapado como residuo en el proceso de fabricación de la resina, en el que se requieren cantidades excesivas de formaldehído para que reaccione con la urea. Por consiguiente, cuanto más nuevo es el producto, mayor será la emisión, que irá disminuyendo en función del grosor del producto, de la fuerza de emisión inicial, de la presencia de otras fuentes de formaldehído, del clima local y del comportamiento de los ocupantes.

Los materiales de construcción y los muebles liberan muchos otros COVs. La emisión puede corresponder a una mezcla compleja de compuestos, aunque algunos de ellos pueden ser predominantes. La complejidad de la emisión de los COVs hace

que los informes sobre las emisiones y concentraciones en el aire se basen en la concentración o la liberación de los compuestos orgánicos volátiles totales (COVT).

En la tabla 3.4. Se dan ejemplos de las tasas de emisión de COVs para varios materiales de construcción. En ellos se observa que existen diferencias importantes en las emisiones entre unos productos y otros, lo que significa que si se dispusiera de datos suficientes se podrían elegir los materiales adecuados en la fase de planificación para reducir al mínimo la liberación de COVs en edificios de nueva construcción. Se ha demostrado que los conservantes de la madera son una fuente de pentaclorofenol y lindano en el aire y en el polvo del interior de los edificios. Se utilizan fundamentalmente para la protección de la madera frente a la exposición atmosférica y también en biocidas aplicados para evitar la desecación de la madera y el control de los insectos.

Tabla 3.4. Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y tasas de emisión asociadas a los diversos recubrimientos y revestimientos de suelos y paredes.

| Tipo de material | Concentraciones (mg/m ³) | Tasa de emisión (mg/m ² h) |
|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Papel de pared | | |
| Vinilo y papel | 0,95 | 0,04 |
| Vinilo y fibra de vidrio | 7,18 | 0,30 |
| Papel pintado | 0,74 | 0,03 |
| Recubrimiento de pared | | |
| Hessian | 0,09 | 0,005 |
| PVC ^a | 2,43 | 0,10 |
| Textil | 39,60 | 1,60 |
| Textil | 1,98 | 0,08 |

Fuente: *Guardino Solá Xavier (2003).*

Tabla 3.4. Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y tasas de emisión asociadas a los diversos recubrimientos y revestimientos de suelos y paredes.

(Continuación)

| Recubrimiento de suelo | | |
|--------------------------------------|-------|------|
| Linóleo | 5,19 | 0,22 |
| Fibras sintéticas | 1,62 | 0,12 |
| Goma | 28,40 | 1,40 |
| Plástico blando | 3,84 | 0,59 |
| PVC homogéneo | 54,80 | 2,30 |
| Revestimiento | | |
| Látex acrílico | 2,00 | 0,43 |
| Barniz, epoxi transparente | 5,45 | 1,30 |
| Barniz, poliuretano, dos componentes | 28,90 | 4,70 |
| Barniz, endurecido con ácido | 3,50 | 0,83 |
| ^a PVC, polivinil cloruro. | | |

La diversidad y número de productos de consumo y domésticos varía constantemente, y sus emisiones químicas dependen de cómo se utilizan. Entre los productos que pueden influir en los niveles de COVs en el interior se encuentran los aerosoles, los artículos de higiene personal, los disolventes, los adhesivos y las pinturas. Otros COVs se han asociado a otras fuentes. El cloroformo se introduce en el aire interior principalmente a consecuencia de la dispensación o calentamiento de agua corriente. Las copiatoras de proceso líquido liberan isodecanos al aire. Está muy extendido el uso de insecticidas para combatir las cucarachas, las termitas, las pulgas, las moscas, las hormigas y los ácaros, y se encuentran en forma de pulverizadores, nebulizadores, polvos, tiras impregnadas, cebos y collares para animales. Algunos de los compuestos son diazinón, paradiclorobenceno, pentaclorofenol, clordano, malatión, naftaleno y aldrín. También son fuentes de

contaminación los ocupantes de la oficina (dióxido de carbono y olores), los materiales de oficina (COV y ozono), los mohos (COV, amoníaco, dióxido de carbono), la tierra contaminada (metano, COV), los depuradores de aire eléctricos y los generadores de iones negativos (ozono).

En la tabla 3.5. Se muestran las relaciones interior-exterior típicas para los principales tipos de contaminantes presentes en el aire interior de los edificios y las concentraciones medias observadas en el aire exterior de áreas urbanas. El dióxido de azufre presente en el aire interior de los edificios procede normalmente del exterior, tanto de fuentes naturales como antropogénicas. La combustión de combustibles fósiles que contienen azufre y la fundición de minerales de azufre son fuentes importantes de dióxido de azufre en la troposfera. Los niveles de fondo son muy bajos (1 ppb), pero en áreas urbanas las concentraciones máximas por hora pueden ser de 0,1 a 0,5 ppm. El dióxido de azufre puede penetrar en un edificio a través del aire utilizado para la ventilación o infiltrarse a través de pequeñas grietas en la estructura del edificio, en función de la hermeticidad del edificio, de las condiciones meteorológicas y de las temperaturas internas. El dióxido de azufre que entra en contacto con los materiales del edificio y los muebles es adsorbido, lo cual puede reducir de forma importante la concentración en el interior con respecto a la existente en el exterior, en particular cuando los niveles de dióxido de azufre en el exterior son elevados.

El exterior es la principal fuente de dióxido de nitrógeno en los edificios sin aparatos de combustible no ventilados. El ozono se produce en la troposfera por reacciones fotoquímicas en atmósferas contaminadas y su formación depende de la intensidad de la luz del sol y de la concentración de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos reactivos y monóxido de carbono. Las concentraciones en el interior son significativamente bajas debido a la reacción con las superficies del interior y a la falta de fuentes potentes. Se estima que la liberación de monóxido de carbono como

resultado de actividades antropogénicas origina el 30 % de la concentración presente en la atmósfera.

Los niveles de fondo son de aproximadamente 0,19 ppm, y en las áreas urbanas existe un nivel diurno de concentraciones relacionado con el uso de vehículos de motor, con niveles máximos por hora que oscilan entre 3 ppm y 50 a 60 ppm. A dicho nivel de fondo originado por el aire del exterior hay que añadir las fuentes de interior, como los aparatos de combustible no ventilados. La relación entre interior y exterior en los compuestos inorgánicos depende del compuesto en cuestión y puede variar con el tiempo.

Para los compuestos con fuentes importantes en el interior, como el formaldehído, suelen ser mayores las concentraciones en el interior. En el caso del formaldehído, las concentraciones en el exterior suelen ser inferiores a los 0,005 mg/m³ y las concentraciones en el interior son diez veces mayores que las del exterior. Otros compuestos como el benceno tienen fuentes importantes en el exterior, particularmente los vehículos de motor de gasolina.

Tabla 3.5. Principales contaminantes químicos del aire interior y sus concentraciones.

| Sustancia/grupo de sustancias | Relación de concentraciones interior/ exterior | Concentraciones típicas urbanas |
|-------------------------------|---|---------------------------------|
| Dióxido de azufre | ~0,5 | 10-20 ppb |
| Dióxido de nitrógeno | ≤5-12 (fuentes de interior) | 10-45 ppb |
| Ozono | 0,1-0,3 | 15-60 ppb |
| Dióxido de carbono | 1-10 | 350 ppm |
| Monóxido de carbono | ≤5-11 (fuente de interior) | 0,2-10 ppm |
| Formaldehído | ≤10 | 0,003 mg/m ³ |
| Otros compuestos orgánicos | 1-50 | 5,2 µg/m ³ |
| Tolueno | | 6,3 µg/m ³ |
| Benceno | | 5,6 µg/m ³ |
| <i>m-y p</i> -xilenos | | |
| Partículas en suspensión | 0,5-1 (excluido el TA ^a) 2-10 (incluido el TA) | 50-150 µg/m ³ |

^a TA, tabaquismo ambiental.

Fuente: Guardino Solá Xavier (2003)

Fue de suma importancia para este estudio no dejar de lado las emisiones que proveen los equipos electrónicos instalados en las oficinas y distintas áreas que conforman la Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier”. Si bien estas emisiones no son específicas de la contaminación derivada de los materiales de la Construcción y etc., debe ser considerado en el diseño de la instalación de los mismos juntamente con el del sistema de Aire Acondicionado.

Las fotocopiadoras en su proceso emiten hidrocarburos, partículas suspendidas respirables, otros compuestos orgánicos volátiles y ozono. Las impresoras a láser y otras emiten hidrocarburos y ozono, las terminales de computación, fax y otros equipos emiten ácidos volátiles y ozono, una pequeña cantidad de solvente es emitida al aire con cada copia realizada. Algunos estudios dan un nivel de 25 gr. de TVOCs (ácidos volátiles medidos en su totalidad) por máquina y por hora. Bajo condiciones normales de trabajo las concentraciones de ozono en espacios de copiado o en las cercanías de fotocopiadoras son de alrededor de 68 ppb. En pequeños espacios pobremente ventilados la concentración alcanza a 200 ppb. Es el doble del valor considerado como adverso para la salud según las normas. La peligrosidad está dada porque estas emisiones se agregan a los elevados niveles de ozono ya existentes en el aire. Las emisiones producidas por las máquinas son también absorbidas por los diarios, libros y tapicerías que actúan como fuentes secundarias de contaminación cuando las máquinas no están en funcionamiento. El ozono producido por estas máquinas es una fuente oxidante que causa una serie de trastornos fisiológicos en el sistema respiratorio. El nivel de riesgo dado por el uso de estas maquinas esta directamente relacionado con el proyecto de ventilación de los locales. De acuerdo a esta consideración es conveniente prever que las máquinas estén cerca de los conductos de retorno y que estén ubicadas en ambientes separados de los puestos de trabajo. Lo ideal es proyectar espacios aislados para los equipos de oficinas, especialmente impresoras láser y fotocopiadoras con sistemas de ventilación independiente. (Castro C. 2000).

Cabe destacar tal como queda a la vista que el uso de materiales fabricados con productos contaminantes trae como consecuencia riesgos para la salud de trabajadores en lugares de trabajo en general, estos producen afecciones que van desde el dolor de cabeza hasta dolencias de la gravedad de la sensibilidad química múltiple. Por otro lado causan un aumento considerable de costos en las instalaciones si se acepta la necesidad de prevenir y mitigar sus consecuencias.

La tabla 3.6. que se muestra a continuación contiene la cantidad de equipos eléctricos y electrónicos que existen en la Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui, distribuidos en cada uno de los seis niveles que la conforman, los cuales son emisores y receptores importantes de los COVs, como ya se explicó anteriormente, cabe destacar que dicha información se obtuvo mediante la inspección ocular realizada en el recinto y cuestionarios realizados al personal de la Biblioteca.

Tabla 3.6. Cantidad de equipos eléctricos que se encuentran en la Biblioteca estudiada

| Nivel | Computadoras | Fotocopiadoras | Televisores | Neveras | Microondas | Fax | Impresoras | Lámparas | VHS | Otros |
|-------|--------------|----------------|-------------|---------|------------|-----|------------|----------|-----|-------|
| -1.95 | 2 | 5 | 1 | 1 | X | 1 | 3 | 135 | X | 2 |
| +0.15 | 7 | X | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 103 | 2 | X |
| +2.25 | 11 | X | X | X | X | X | X | 153 | X | X |
| +4.35 | 3 | X | X | X | X | X | X | 80 | X | X |
| +6.45 | X | X | X | X | X | X | X | 82 | X | X |
| +7.40 | 5 | X | X | 1 | X | X | X | 35 | X | X |

Fuente: El Autor (2009)

X: No existe dicho equipo.

3.6.2.3.3. Gases que según la norma COVENIN 2253: 2001 existen en lugares de trabajo y que a su vez estén dentro de los límites de medición con que cuenta el Detector Multigas Sirius

Para evaluar este factor fue necesario analizar el hecho de que el Detector Multigas Sirius cuenta con un PID (detector de fotoionización) de alta sensibilidad y amplio espectro con capacidad de medir COVs y otros gases tóxicos que cuenten con concentraciones por el orden de las pocas ppb (partes por billón) hasta las 10.000 ppm (partes por millón o 1% en volumen).

La norma Venezolana COVENIN 2253: 2001 titulada “Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición” establece una gran cantidad de gases cuya presencia en ambientes interiores es muy común. Dicha norma, indica las concentraciones ambientales permisibles (CAP) y los límites de exposición breve (LEB), a los que los trabajadores deberían estar sometidos. Para desarrollar esta etapa del presente proyecto se procedió a compendiar las concentraciones de los gases mostrados en la norma mencionada, cuya magnitud se encontrara dentro del límite que va desde las pocas partes por billón (ppb), hasta 10.000 partes por millón (ppm) con que cuenta el equipo Sirius.

La tabla 3.7. que se muestra a continuación, contiene las concentraciones ambientales permisibles (CAP) y los límites de exposición breve (LEB) de sustancias químicas comúnmente encontradas en ambientes interiores, según la norma COVENIN 2253: 2001 “Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición”.

Tabla 3.7. Concentraciones ambientales permisibles (CAP) y los límites de exposición breve (LEB) de sustancias químicas comúnmente encontradas en ambientes interiores, según la norma COVENIN 2253: 2001.

| SUSTANCIA | CAP | | LEB | |
|-------------------------------|----------------------|-------------------|------------|-------------------|
| | Ppm | mg/m ³ | Ppm | mg/m ³ |
| ... | | | | |
| Acetato de Vinilo | 10 A3 | - | 15 A3 | - |
| Benceno. Piel | 0,5 A1 | - | 2,5 A1 | - |
| Tolueno. Piel | 50 A4 IBE | 188 A4 IBE | - | - |
| Hexano | 500 | - | 1000 | - |
| Xileno (isómeros o – m -p) | 100 A4 IBE | - | 150 A4 IBE | - |
| Amoníaco | 25 | - | 35 | - |
| Estireno | 20 A4 IBE | - | 40 A4 IBE | - |
| Tricloroetileno, (cloroformo) | 50 A5 IBE | 269 A5 IBE | 100 A5 IBE | 537 A5 |
| Percloroetileno | 25 ^a 3IBE | - | 100 | - |
| Óxido de Propileno | 2 S A3 | - | - | - |
| Fosfamina | 0,3 | - | 1 | - |
| Formaldehído | - | - | T 0,3 A2 S | - |
| Dióxido de carbono | 5000 | - | 30000 | - |
| Dióxido de Azufre | 2 A4 | - | 5 A4 | - |
| Dióxido de Nitrógeno | 3 A4 | - | 5 A4 | - |
| Trimetilheptano | | | | |
| Tetracloruro de carbono | 5 A2 | 31 A2 | 10 A2 | 63 A2 |
| Etil Benceno | 100 IBE | - | 150 IBE | - |

Fuente: COVENIN 2253 (2001)

CAP: concentraciones ambientales permisibles

LEB: límites de exposición breve

A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2 (ver norma COVENIN 2253)

IBE: sustancial para la cual hay también índice biológico de exposición.

S: sensibilizador.

A continuación se muestra la tabla 3.8. que respalda lo reflejado en la norma COVENIN 2253 : 2001, “Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición”, dicha tabla pertenece a renombradas organizaciones mundiales como la OSHA y ASHRAE encargadas del estudio de la calidad del aire en ambientes interiores y exteriores, las concentraciones mostradas representan el 1/10 PEL-TWA establecidos por las organizaciones ya mencionadas y corresponden a los máximos niveles recomendados para confort humano.

Tabla 3.8. Concentraciones aconsejadas para algunos contaminantes frecuentes en ambientes cerrados

| CONTAMINANTE | CONCENTRACION |
|--|------------------------------------|
| Formaldehído (Contrachapados y materiales sintéticos) | 0.1 ppm |
| Compuestos orgánicos volátiles (muebles y cortinajes): | 30 a 50 mg/m ³ |
| Tolueno | 20 ppm |
| Cloruro de metileno | 50 ppm |
| Benceno | 1 ppm |
| Acetona | 75 ppm |
| Estireno | 5 ppm |
| Freón 12 | 100 ppm |
| Dioxano | 2.5 ppm |
| PCBs (Alfombras, lubricantes) | 0.05 mg/m ³ |
| Asbestos (Antífuegos) | 0.02 fibras/cm ³ (>5µm) |
| Amoníaco (Productos de limpieza) | 3.5 mg/m ³ |
| Cloruro de bencilo (Vinílicos) | 0.5 mg/m ³ (0.1 ppm) |
| Humo de Tabaco | 0.1 a 0.15 mg/m ³ |
| Tetradoruro de carbono (Productos de limpieza) | 1 ppm |

Fuente: Berenguer J. (1995).

3.6.2.3.4. Según la lámpara ultravioleta con la que cuenta para la presente investigación

Este factor fue de gran importancia al momento de seleccionar que gases se iban a medir para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, ya que cada lámpara dispone de un rango de medidas posibles en cuanto a porcentaje de ionización se refiere. La mayoría de las sustancias pueden ionizarse, pero unas lo logran más fácilmente que otras. Esa capacidad de una sustancia para ionizarse se mide en una escala de energía de electrón-voltios (eV). Esta escala por lo general oscila entre un valor de 7 y 16 aproximadamente. Las sustancias con un valor nominal del 7 son muy fáciles de ionizar. Las sustancias con un valor nominal de eV entre 12 y 16 son extremadamente difíciles de ionizar. La tabla 3.9. Muestreados valores nominales de eV de algunas sustancias comunes:

Tabla 3.9. Valores nominales de eV de algunas sustancias comunes.

| Sustancia | eV | Sustancia | eV |
|-----------|-------|---------------------------|-------|
| Benceno | 9.24 | Metilo Etilo Cetona (MEK) | 9.53 |
| Hexano | 10.18 | Dióxido de cloro | 10.36 |
| Tolueno | 8.82 | Fosfamina | 9.87 |
| Estireno | 8.41 | Amoniaco | 10.18 |

Fuente: MSA (2004)

Cuando los compuestos químicos que se están monitoreando han sido ionizados dentro del instrumento, se produce una corriente y la concentración del compuesto se muestra en el medidor como partes por millón (ppm). El Detector Multigas Sirius utiliza una lámpara de luz ultravioleta (UV) para ionizar el compuesto que está monitoreándose. La lámpara, por lo regular del tamaño del bulbo de una linterna común, emite suficiente energía ultravioleta para ionizar el compuesto que se está midiendo. Existen diferentes lámparas disponibles para el detector multigas Sirius entre las cuales se pueden mencionar las siguientes

Lámpara de 9.8 eV: emite suficiente energía para ionizar cualquier compuesto cuyo valor nominal de eV es menor de 9.6. Estas lámparas pueden medir los compuestos representados en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Valores nominales de eV de algunas sustancias comunes para la lámpara 9.8 eV

| Sustancia | eV |
|-------------------|------|
| Tolueno | 8.82 |
| Acetato de vinilo | 9.19 |
| Propilamina | 8.78 |
| Estireno | 8.40 |

Fuente: MSA (2004)

Lámpara de 10.6 eV: emite suficiente energía para ionizar cualquier compuesto que una lámpara de 9.8 eV puede detectar, más cualquier compuesto cuyo valor nominal de eV es menor de 10.6. (MSA, 2004). En la tabla 3.11 se encuentran algunas sustancias que pueden detectarse con la lámpara de 10.6 eV.

Tabla 3.11. Valores nominales de eV, algunas sustancias comunes para la lámpara 10.6 eV

| Sustancia | eV |
|-------------------|-------|
| Alcohol propílico | 10.22 |
| Fosfamina | 9.96 |
| Cloruro de vinilo | 10.00 |
| Acetaldehído | 10.22 |

Fuente: MSA (2004)

Tomando en cuenta que para los detectores PID como el utilizado en este proyecto existen lámparas de 9,8 eV, 10,6 eV y 11,7 eV, a primera vista, puede parecer que para medir un mayor rango de gases con dicho instrumento se debe utilizar una lámpara de 11,7 eV en lugar de una de 10,6 eV.

Sin embargo, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las lámparas de 9,8 y 10,6 son más específicas. Un menor potencial de ionización significa que “ven” menos sustancias químicas.
- Las de 9,8 y 10,6 eV duran pocos años. Aproximadamente la misma vida útil y costo que un sensor CO.
- Las de 9,8 y 10,6 eV tienen mayor sensibilidad.
- Las lámparas de 11,7 eV proporcionan menor resolución: El cristal de fluoruro de litio de la lámpara de 11,7 eV no permite el paso de tanta energía luminosa, convirtiendo la lámpara de 11,7 eV en más "débil" que la de 10,6 eV. Menos energía transmitida significa que tiene lugar menos ionización, reduciendo la resolución potencial.
- Esencialmente, una lámpara de 10,6 eV es 10 veces más potente que una lámpara de 11,7 eV. Por lo tanto, para una mayor precisión, no se recomienda el uso de lámparas de 11,7 eV para aplicaciones que requieran una sensibilidad muy elevada. Como ejemplo encontramos el formaldehído, con un TWA OSHA de sólo 0,75 ppm.
- Las lámparas de 11,7 eV tienen un tiempo de vida menor que las de 9,8 o 10,6.
- Todas las lámparas de 11,7 eV tienen una ventana de fluoruro de litio para transmitir la luz UV de alta energía. El fluoruro de litio es más difícil de fijar al cristal de la lámpara, es muy higroscópico y absorbe agua del aire incluso cuando no está en uso. Esto provoca que la ventana tenga más grosor y disminuya la cantidad de luz transmitida a través de ella. El fluoruro de litio también se degrada con la luz UV; cuanto más se usa el instrumento, mayor es el daño. Estos factores contribuyen a acortar la vida de la lámpara.
- Las lámparas de 10,6 eV puede durar entre 24 y 36 meses, una de 11,7 eV sólo suele durar entre dos y seis meses.

- Las lámparas de 11,7 eV se deben utilizar únicamente cuando se espera detectar compuestos con potencial de ionización superior a 10,6 eV. Ejemplo: cloruro de metileno, cloroformo y tetracloruro de carbono.
- La vida de una lámpara de 11,7 eV se puede ampliar si se almacena en un ambiente desecante (dentro o fuera del PID) mientras no se está usando. Éste puede ser simplemente un contenedor con paquetes secantes de gel de silicio, como los que se usan en el envío de equipos electrónicos o cámaras. (Raesgo, 2007)

Se ionizó el gas cuyo potencial de ionización fuese menor o igual al de la lámpara utilizada para la presente investigación. El potencial de ionización de los principales componentes del aire atmosférico (oxígeno, nitrógeno y gas carbónico) varía entre 12,0 eV y 15,6 eV, sin ser ionizados por las lámparas disponibles, ya que no son importantes durante el monitoreo de contaminantes gaseosos. De esta forma, la lámpara con mayor potencial de ionización normalmente usada es la de 11,7 eV. La humedad causa algunos problemas cuando el instrumento todavía no está caliente y se lleva a una atmósfera cálida y húmeda, esa humedad puede condensarse en la lámpara y reducir la luz emitida. La humedad del aire también reduce la ionización de las sustancias que se van a monitorear y provocan una reducción en la medición.

Si se usa una lámpara, la intensidad de la luz disminuirá. Ésta tendrá la misma energía de ionización pero la respuesta será más lenta. Esto se podrá detectar durante la calibración y ajustes del instrumento.

La lámpara disponible para el presente estudio es la de 9,8 eV, ya que es la lámpara con la cual el equipo cuenta por defecto, por esa razón se detectaron gases con potencial de ionización menor a 9,8 eV (*ver anexo E*), ya que para compuestos con potencial de ionización mayor a 9,8 eV el PID utilizado no podría detectar dichos compuestos.

3.6.2.4. Instrumento de medición

El Detector Multigas *Sirius* es un instrumento que está concebido para evaluar siguientes situaciones como:

- La exposición potencial a gases combustibles y tóxicos a la que están sometidos los trabajadores.
- Determinar el monitoreo apropiado de gas y vapor que se necesita en un lugar de trabajo.
- Para detectar gases combustibles y ciertos vapores combustibles, compuestos orgánicos volátiles (COVs) y atmósferas deficientes o ricas en oxígeno así como también gases tóxicos específicos para los cuales se instala un sensor. (MSA Instrument Division, 2005).

En la figura 3.3 se observa el Detector Multigas Sirius, el cual se utilizó para determinar la concentración del contaminante presente en la biblioteca.



Figura 3.3. Esquema de partes del detector multigas Sirius

Fuente: MSA (2004)

Aplicaciones:

- Investigación incendios
- Control espacios confinados

- Control fugas depósitos
- Control descontaminación
- Determinación del nivel del equipo protección individual
- Control fumigación
- Detección de fugas
- Control de la atmósfera en el lugar de trabajo
- Control perimetral
- Control remediación de terrenos contaminados
- Control derrames (MSA Española, S.A.U, 2004).

Características:

- Sobresaliente capacidad multifuncional integrando un sensor de alta performance PID al tradicional detector de cuatro sensores. Los usuarios serán capaces de medir simultáneamente vapores orgánicos VOC con baja presión de vapor y gases combustibles, tóxicos y oxígeno con una sola unidad.
- El sensor PID provee una excelente performance, estabilidad del cero y rápida velocidad de respuesta.
- Lectura clara del gas combustible, CO, H₂S, O₂ y el vapor orgánico VOC identificado por su nombre. Se suministra un indicador del estado de la batería que informa el tiempo que le queda para funcionar a la unidad. El instrumento suministra además el factor de respuesta para los 100 gases que componen la lista de VOC. El usuario puede seleccionar una opción en ppb (partes por billón) cuando la lectura es menor de 10 ppm.
- Hay dos lámparas disponibles, una roja de 9.8 eV y una verde de 10.6 eV.
- El detector SIRIUS puede ser usado con o sin modo PID. Cuando se necesita sólo la medición de los 4 gases se puede apagar la función VOC.
- Alarma sonora y visual incorporadas que pueden ser vistas fácilmente de cualquier dirección. Posee además una luz indicadora de seguridad (Safee Led)

que se enciende cada 15 segundos informando al usuario que los valores medidos son los normales.

- Baterías alcalinas descartables o batería de ión litio recargable. Ambas son intercambiables.
- Calibración sencilla usando un sólo botón. (MSA Española, S.A.U, 2004).

Teoría y definiciones del PID:

El detector de fotoionización (PID) usa una lámpara ultravioleta para ionizar el compuesto de interés. Cuando esto sucede, se produce una corriente y la concentración del compuesto se muestra en el medidor como partes por millón. En la figura 3.4. se muestra el diseño de un sensor de fotoionización típico, y se indican sus partes más importantes.

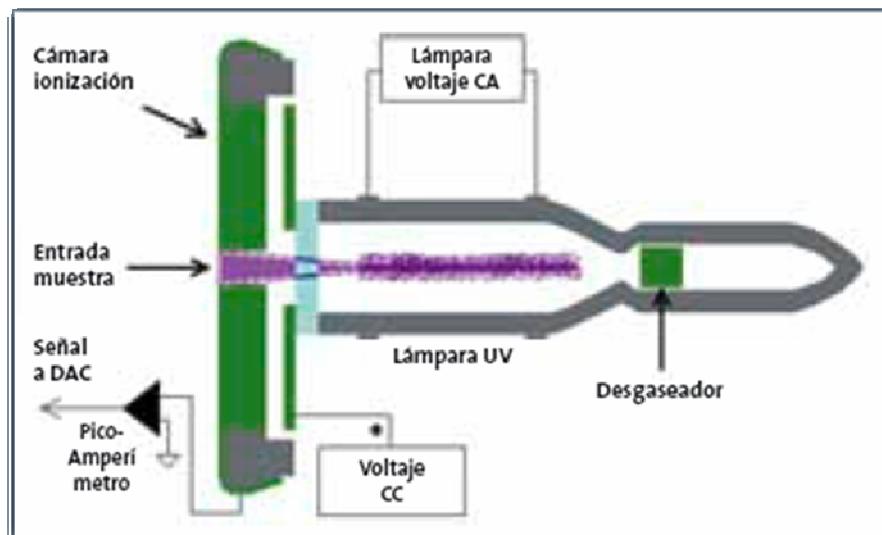


Figura 3.4. Diseño del sensor de fotoionización típico. *Fuente: MSA (2004).*

Factores de respuesta:

Cuando un detector de fotoionización ioniza un compuesto, genera una corriente. Esta corriente constituye una respuesta que es característica de un compuesto específico y que está influenciada por su estructura molecular. La pendiente de la curva de respuesta (definida en picoamperios por ppm) es diferente para diferentes compuestos químicos.

Para informar correctamente la concentración de un gas dado del cual se obtiene una muestra, el Detector Multigas Sirius usa los factores de respuestas. El factor de respuesta está definido como la relación entre la respuesta del detector para el isobutileno y la respuesta del detector para el gas que se está muestreando. Estos factores están programados en el instrumento. La curva de respuesta calibrada, y todos los factores de respuesta programados son relativos al isobutileno. (El isobutileno tiene un factor de respuesta de uno).

El factor de respuesta es un multiplicador que compensa la diferencia entre la respuesta del gas que se está muestreando y la respuesta del isobutileno. Cada vez que el monitor detecta una señal, usa el factor de respuesta para ese compuesto químico y convierte dicha señal a la concentración correcta mostrada del gas de muestreo (si se conoce su identidad).

Cuando se toma la muestra, la respuesta equivalente al isobutileno se multiplica entonces por el factor de respuesta de un gas de muestreo específico para calcular la concentración. Si se conoce el factor de respuesta, puede usar un monitor calibrado para isobutileno para calcular la concentración real del gas que quiere medirse. (MSA Instrument Division, 2005).

Especificaciones técnicas y rendimiento del equipo:

A continuación se muestra la tabla 3.12. que contiene las especificaciones técnicas del Detector Multigas Sirius:

Tabla 3.12. Especificaciones técnicas del Detector Multigas Sirius

| Gas | Rango | Resolución | Alarma [Preajustada] |
|----------------------|--|-----------------------------------|--------------------------------------|
| VOC | 0–200 ppm 200–2000 ppm 0–9900 ppb [opcional] | 0.1 ppm 1 ppm 100 ppb | 50 y 100 ppm STEL 25; TWA 10 ppm |
| LEL [Combustible] | 0–100% LEL | 1% LEL o 0.05% CH ₄ | 10 y 20% LEL |
| Oxígeno | 0–25% Vol | 0.1% Vol | 19.5 y 23.0% Vol |
| CO | 0–500 ppm | 1 ppm | 35 y 100 ppm STEL 400; TWA 35 ppm |
| H ₂ S | 0–200 ppm | 1 ppm | 10 y 15 ppm STEL 15; TWA 10 ppm |
| Peso | 500 g [incluyendo bloque pilas alcalinas] | | |
| Dimensiones | 165 x 92 x 66 mm [L x H x A] | | |
| Alarma | Acústica – min 90 dB a 30 cm Optica – LEDs visibles en ángulo de 320° | | |
| Pantalla | LCD retro iluminado con caracteres grandes de fácil lectura. Todos los gases se muestran simultáneamente | | |
| Tipo Batería | Bloque baterías Ión Litio recargable o pilas alcalinas | | |
| Duración Batería | Ión-Li | > 11 h [a 23 °C] | |
| | Alcalina | > 6 h [a 23 °C] | |
| Carga | < 6 h con cargador rápido MSA [100–250 Vca] | | |
| Campo operativo | 0 a 40 °C [funcionamiento normal] –20 a 50 °C [extensión funcionamiento] | | |
| Humedad | 0–95% HR [no condensable] durante 8 horas | | |
| Grado protección | IP 54 mínimo | | |
| Garantía | 2 años todos los componentes excepto sensor PID y cámara ión: 1 año [en condiciones normales uso] | | |
| Certificación | EN 50014/EN 50018/EN 50019/EN 50020 Ⓢ II 2G EEx ib d IIC T3/T4 –20 °C a +50 °C Ión-Li T4 Alcalina Duracell T4 Alcalina Varta T3 | | |

Fuente: MSA (2004)

Nota: Para obtener más información técnica y de calibración sobre el *Detector Multigas* utilizado en la presente evaluación, consultar el anexo E.

Uso del Detector Multigas Sirius:

Encendido del Detector Multigas Sirius:

Pulsar el botón ON (encender) y el instrumento mostrará:

1. Una autocomprobación:

- ✓ Todos los segmentos se muestran.
- ✓ Una alarma audible suena.
- ✓ Los LED de alarma se iluminan.
- ✓ La luz de fondo de la pantalla se ilumina.
- ✓ La bomba se activa.
- ✓ Se muestra la versión de software.
- ✓ Diagnósticos internos.

2. Valores predeterminados de las alarmas:

- ✓ Bajo
- ✓ Alto
- ✓ Límite de exposición a corto plazo (STEL) (si está activado).
- ✓ Promedio de tiempo ponderado (TWA) (si está activado).

3. Gas de calibración (valores de gas de calibración esperados)

4. Hora y fecha (si está instalada la opción de registro de datos)

5. Última fecha de calibración (si está instalada la opción de registro de datos)

6. Período de calentamiento del instrumento.

7. Opción de configuración en aire limpio.

En la figura 3.5 que se muestra a continuación se observan las partes del detector utilizado para medir la concentración del COVs en la biblioteca en estudio.

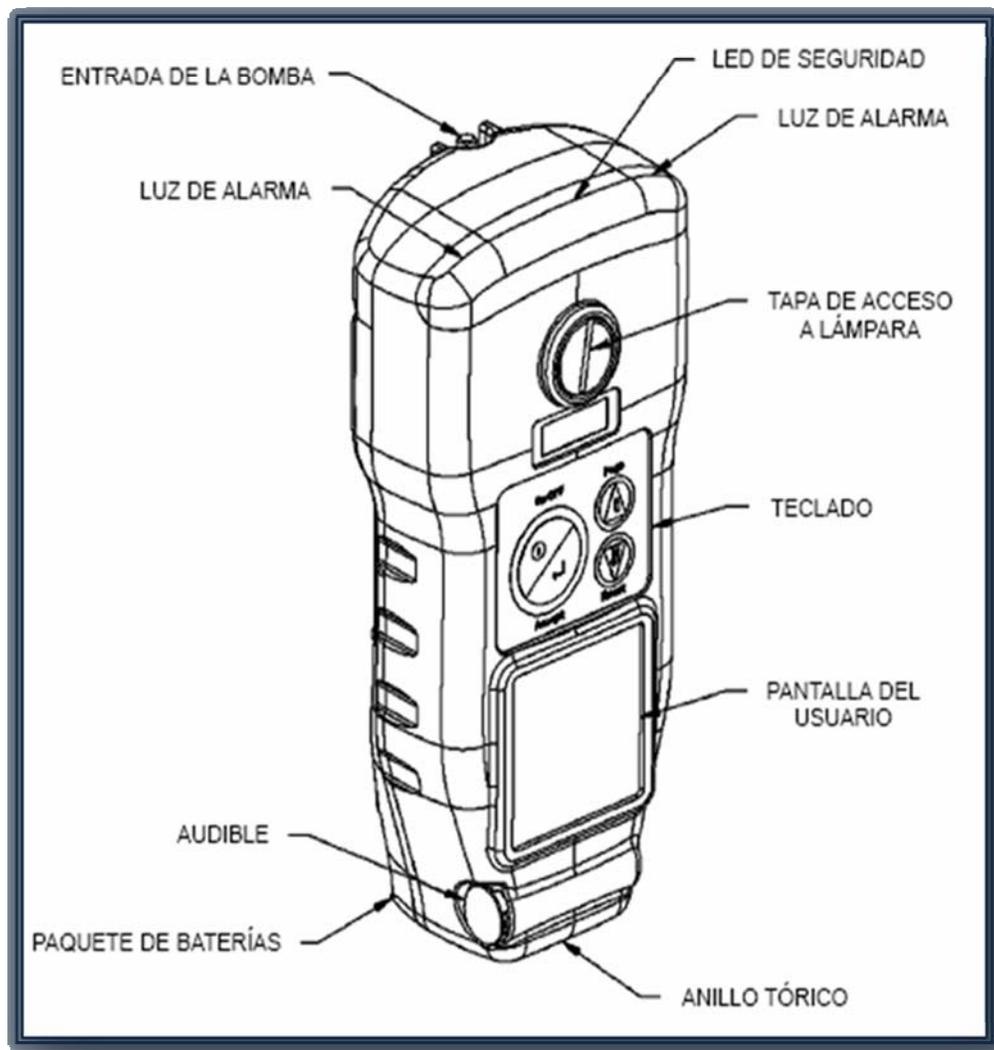


Figura 3.5. Partes del Detector Multigas Sirius

Fuente: MSA Instrument Division (2005).

3.6.2.5. Determinación de la ubicación y número mínimo de puntos de muestreo

Para realizar el diagnóstico del índice de la concentración de los gases contaminantes presentes en el ambiente a estudiar, y luego de establecer el contaminante a medir, se procedió a determinar la ubicación de los puntos de

muestreo a lo largo de toda el área de la biblioteca, esto para luego proceder a establecer el área crítica de la misma. Dicha zona crítica sería aquella con mayor índice de gases contaminantes (COVs) a lo largo del área que la comprende. Al momento de determinar la ubicación y número mínimo de puntos de muestreo se llevó a cabo un proceso previo que consistió en dividir en distintas áreas de estudio cada nivel del recinto en estudio, haciendo posible la creación de un mapa de la contaminación del aire de toda la biblioteca, con el fin de conseguir la zona crítica en cuanto a contaminantes de ambientes cerrados se refiere, dicha división de áreas se llevó a cabo mediante la inspección ocular minuciosa y mediante la enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo de Guardino Solá Xavier (2003,) de cada área real de la biblioteca ya que el lugar o lugares elegidos debían ser los más apropiados y representativos para obtener muestras más cercanas a la realidad del problema. Para ello se debe tener conocimientos acerca del edificio a estudiar, en cuanto a los siguientes aspectos:

- ✓ El número de pisos.
- ✓ Los sistemas de aire acondicionado (distribución de las ducterías, forma de instalación y áreas en las que cada unidad de aire trabaja).
- ✓ El tipo de división en compartimentos.
- ✓ Si la ventilación es natural o artificial.
- ✓ Si pueden abrirse o no las ventanas.

También fue necesario conocer el origen de las quejas y los problemas; por ejemplo, si se producen en los pisos superiores o inferiores, o en las áreas próximas o distantes a las ventanas, y en las áreas con una ventilación deficientes, dicha información se obtuvo con las encuestas realizadas a empleados y alumnos en el recinto de estudio. La selección de los mejores lugares para tomar las muestras se basó en toda la información disponible con respecto a los aspectos anteriormente mencionados. En la figura 3.6. mostrada a continuación se observa una vista de planta

de los niveles -1.95 y +0.15, en la cual se pueden identificar las áreas de estudio seleccionadas para el presente estudio:

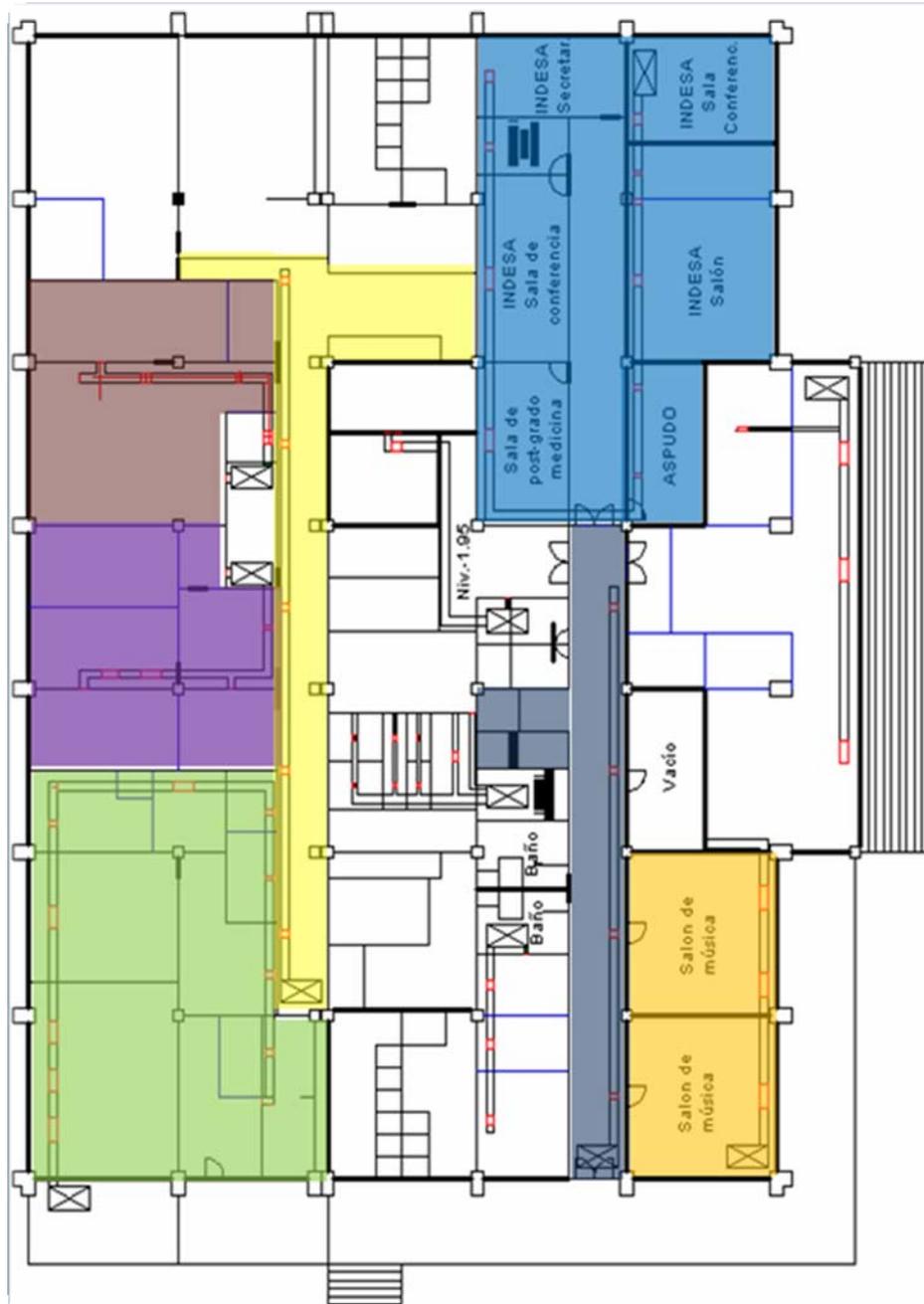


Figura Plano Planta Niveles -1.95 y +0.15 Biblioteca "Dr. Luis García Pelissier",
Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui

Donde:

-  Área 1 - Salones de música 1 y 2.
-  Área 2 - Pasillo de distribución.
-  Área 3 - INDESA y ASPUDO.
-  Área 4 - Pasillo de distribución (Dirección).
-  Área 5 - Dirección de la Biblioteca.
-  Área 6 - Tecnología Educativa: Recepción, sala de conferencia y Jefatura de departamento.
-  Área 7 - Departamento de Procesos Técnicos.

Ver Anexo D para información de las áreas de estudio correspondientes al resto de los niveles del recinto.

Nota: Cabe destacar que las áreas no sombreadas corresponden a aquellas zonas a las cuales no se pudo acceder debido a que su entrada estaba restringida al público. Para seleccionar las áreas de estudio se tomó en cuenta cada sistema de aire acondicionado por separado, con el fin de realizar una evaluación más específica y detallada para las posibles área(s) críticas a detectar, es decir, que cada área de estudio corresponde a un sistema independiente de aire acondicionado.

Luego de establecer cada área de estudio se ubicaron los puntos exactos donde se llevaría a cabo el proceso de medición con el detector multigas Sirius, cabe destacar que no existen normativas o procedimientos bien establecidos para detectar

compuestos orgánicos volátiles en ambientes cerrados con un PID (sensor de fotoionización), en los cuales se exprese exactamente el lugar adecuado para medir, por lo cual se siguió un procedimiento análogo y similar, el cual es indicado en la NORMA COVENIN: 3513 – 1999, que señala que “los puntos de muestreo deben estar ubicados a no menos de 1,5 m, o dos (2) diámetros equivalentes de distancia de la salida del gas a la atmosfera, tal como lo determina la norma Venezolana 1649” (NORMA COVENIN 3513 - 1999).

El número mínimo de puntos de muestreo fue definido por la cantidad de salidas (rejillas de aire), y se realizaron a dos diámetros equivalentes de distancia de cada salida de aire, tal como lo reza la norma Venezolana COVENIN 1649. Ejemplo el área 1 del nivel 1 mostrado anteriormente en la figura 3.7. cuenta con tres (3) salidas de aire por lo cual el número de puntos de muestreo es igual a tres (3), cada uno correspondiente a cada salida de aire, cabe destacar que el diámetro de la sección transversal de los ductos satisface las condiciones de uso de la norma COVENIN 3513 - 1999 mencionada anteriormente.

3.6.2.6. Selección del método de medición, y cantidad de mediciones por cada punto de muestreo

3.6.2.6.1. Selección del método de medición

Los métodos disponibles para tomar muestras del aire interior para su análisis pueden agruparse en dos (2) tipos: métodos basados en una lectura directa y métodos en los que se toman muestras para un posterior análisis. Debido a las condiciones presentadas en el presente proyecto (equipo de medición y condiciones del edificio), se determinó que el método a utilizar sería el de lectura directa, los métodos basados en una lectura directa son aquellos en los que la toma de la muestra y la determinación de la concentración de contaminantes se realizan de forma simultánea;

son rápidos y las determinaciones son instantáneas, por lo que proporcionan datos precisos a un costo relativamente bajo. Entre estos métodos se incluyen los tubos colorimétricos y los monitores específicos, el Detector Multigas Sirius (equipo de medición de concentraciones utilizado para este proyecto), se considera un monitor específico de amplio espectro, gran sensibilidad y precisión. La tabla 3.15. muestra los métodos más utilizados para el análisis de contaminantes químicos presentes en ambientes internos.

Tabla 3.13. Metodología para la toma de muestras, utilizada en el presente proyecto

| Características | Activa | Pasiva | Lectura directa |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Determinaciones a intervalos de tiempo | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Determinaciones a largo plazo | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Monitorización | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Concentración de la muestra | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Determinación de inmisión | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Determinación de emisión | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Respuesta inmediata | | | <input checked="" type="checkbox"/> |

+ Significa que el método dado es adecuado para el método de determinación o los criterios de determinación deseados.

Fuente: Guardino Solá Xavier (2003).

Metodología aplicada en este proyecto

En la tabla 3.14. que se muestra a continuación se observan los métodos más usados para el análisis de contaminantes químicos, en cuanto a calidad de aire se refiere.

Tabla 3.14. Métodos utilizados para el análisis de contaminantes químicos

| Contaminante | Monitor de lectura directa ^a | Muestreo y análisis |
|----------------------|---|---------------------|
| Monóxido de carbono | + | + |
| Dióxido de carbono | + | + |
| Dióxido de nitrógeno | + | + |
| Formaldehído | - | + |
| Dioxido de azufre | + | + |
| Ozono | + | + |
| COV | + | + |
| Plaguicidas | - | + |
| Particulados | + | + |

^a ++ = utilizado con gran frecuencia; + = utilizado con menor frecuencia; - = no aplicable.

Fuente: Guardino Solá Xavier (2003).

3.6.2.6.2. Cantidad de mediciones por cada punto de muestreo y horas de medición

Para determinar la cantidad de mediciones por cada punto de muestreo, se procedió a evaluar la dinámica del ambiente interior en cuestión, dicha dinámica está influenciada por la diversidad y variabilidad de las fuentes de contaminación, las diferencias físicas de los espacios estudiados, el tipo de compartimentación, el tipo de ventilación y climatización utilizada y las características del edificio (número de ventanas, su orientación, entre otras.).

Para sustancias con efectos agudos pero no acumulativos, bastará realizar determinaciones durante períodos cortos de tiempo. Si se sospechan emisiones intensas de corta duración, se requerirán tomas de muestras frecuentes durante períodos cortos para detectar el tiempo de emisión. (Guardino Solá Xavier, 2003). Tomando en cuenta que los COVs, son sustancias que generan degradación rápida en

la salud del individuo que este en contacto con ellas, se utilizó lo enunciado por Guardino Xavier, y se estableció que el diagnóstico del índice de las concentraciones de los gases contaminantes presentes en el interior del edificio estudiado sería realizado en tres ciclos, correspondientes a un día (laborable) cada uno, y cada ciclo a su vez consta de mediciones realizadas a dos diferentes horas del día, dichas horas fueron seleccionadas tomando en cuenta lo reflejado por M. Gracia Rosell (2003), que expresa lo siguiente: “la contaminación de gases puede detectarse inicialmente por la mañana, durante la jornada de trabajo o al final del día; puede detectarse al comienzo o al final de la semana; durante el invierno o el verano; cuando el aire acondicionado está conectado o desconectado; o bien en otros momentos”. En base a lo enunciado anteriormente, las horas de medición seleccionadas fueron las siguientes:

- ✓ 9 AM (inicio de la jornada).
- ✓ 4 PM (final de la jornada).

Nota: cabe destacar que dichas horas de medición se llevaron a cabo durante tres (3) ciclos de medición correspondiente a un (1) día cada uno, tal como lo muestra la tabla 3.15, que refleja el orden de cada uno de los ciclos de medición:

Tabla 3.15 Horas de recolección de datos (índice de concentraciones de gases COVs).

| Horas | Ciclo 1 | | Ciclo 2 | | Ciclo 3 | |
|-------|---|---|---|---|---|---|
| | 9AM | 4PM | 9AM | 4PM | 9AM | 4PM |
| | 3 mediciones para cada gas en c/pto de muestreo | 3 mediciones para cada gas en c/pto de muestreo | 3 mediciones para cada gas en c/pto de muestreo | 3 mediciones para cada gas en c/pto de muestreo | 3 mediciones para cada gas en c/pto de muestreo | 3 mediciones para cada gas en c/punto de muestreo |

Fuente: El Autor 2009.

3.6.2.7. Determinación del área crítica en cuanto a contaminación de Acetato de Vinilo se refiere

Luego de analizado todos los factores anteriormente explicados, se procedió a seleccionar, el área de estudio mas afectada en cuanto a calidad de aire por la concentración de los gases contaminantes (COVs) medidos, para dicha selección se tomaron en cuenta las concentraciones de gases medidas, se realizó una comparación entre cada área de estudio evaluada, y aquella área que contara con el mayor índice de contaminantes seria el área crítica, en la cual se realizaría una evaluación específica y profunda en cuanto a factores determinantes de calidad de aire, tal como lo muestra la tabla 3.16 mostrada a continuación:

Tabla 3.16. Índice de concentraciones obtenido para cada área de estudio

| Niveles | -1.95 y +0.15 | | | | | | | 2.25 y 4.35 | | | | | | 6.45 y 7.40 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Áreas de estudio | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₆ | A ₇ | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₆ | A ₁ |
| Concentración de Acetato de Vinilo en (ppm) | 6.11 | 6.96 | 6.37 | 5.75 | 6.33 | 5.99 | 6.41 | 7.54 | 5.94 | 6.15 | 6.21 | 5.91 | 6.62 | 5.82 |

Fuente: El Autor (2009).

Nota: las concentraciones de Acetato de ($C_4H_6O_2$), que se observan en la tabla anteriormente mostrada corresponden al promedio de los tres (3) ciclos de medición ya explicados, así como también al promedio de las dos horas de medición (9am y 4pm), promedios mediante los cuales se obtuvieron los índices mostrados en la tabla 3.16, el análisis de estos resultados se muestran en el capítulo IV del presente trabajo.

El área más crítica de las áreas de estudio de la biblioteca es el área A₁, debido a que cuenta con la mayor concentración del contaminante muestreado (Acetato de Vinilo) la cual es 7.54 ppm.

3.6.3. Diseño del Procedimiento Sistemático para la Toma de Datos Experimentales en la Zona Crítica

Para poder diseñar un procedimiento acorde con el contexto más afectado en cuanto a presencia de Acetato de Vinilo, fue necesario primero muestrear cada área del recinto en estudio para establecer el diagnóstico, obteniendo como resultado que el área crítica del mismo es el área uno (1) del nivel (2.25 y 4.35), la cual corresponde a la sala de estudio 1 de ese nivel, dicha sala cuenta con un área de 129.6 m², puede albergar a 118 personas, y está equipada con un equipo de aire acondicionado tipo Split cuyas especificaciones técnicas se muestran en la tabla 3.29 del presente trabajo.

Dicho sistema está equipado de un ducto de sección transversal circular de 0,30 m de diámetro y 12,4 m de longitud que distribuye el aire a través de sí mismo por toda la zona crítica, dicho ducto está fabricado de Cloruro Polivinílico (PVC), y cuenta con cuatro (4) salidas de aire distribuidas a lo largo de su longitud, las mismas sirvieron de puntos de muestreos para la toma de datos experimentales de velocidad de aire, caudal, humedad, temperatura y concentración del acetato de vinilo tal como lo enuncia la norma COVENIN 1649-1996. Cabe destacar que los cuatro puntos de muestreo seleccionados para el proceso de medición, se dividieron en puntos de muestreo longitudinales y transversales, esto con el fin de obtener información más detallada de la velocidad temperatura, humedad y concentración del Acetato de Vinilo presente en el aire que circula por el ducto de estudio, la obtención de dichos puntos de muestreos (longitudinales y transversales) se explican con detalle más adelante (*ver puntos: 3.6.3.1.1. y 3.6.3.2.1 correspondientes a la determinación de ubicación y número mínimo de puntos de muestreo en el área crítica*)

A continuación se muestra una vista de planta de la zona crítica de la Biblioteca, observándose la respectiva unidad de aire acondicionado, el ducto de

ventilación así como también los cuatro puntos de muestreo longitudinales en los cuales se realizaron las mediciones de las variables mencionadas anteriormente:

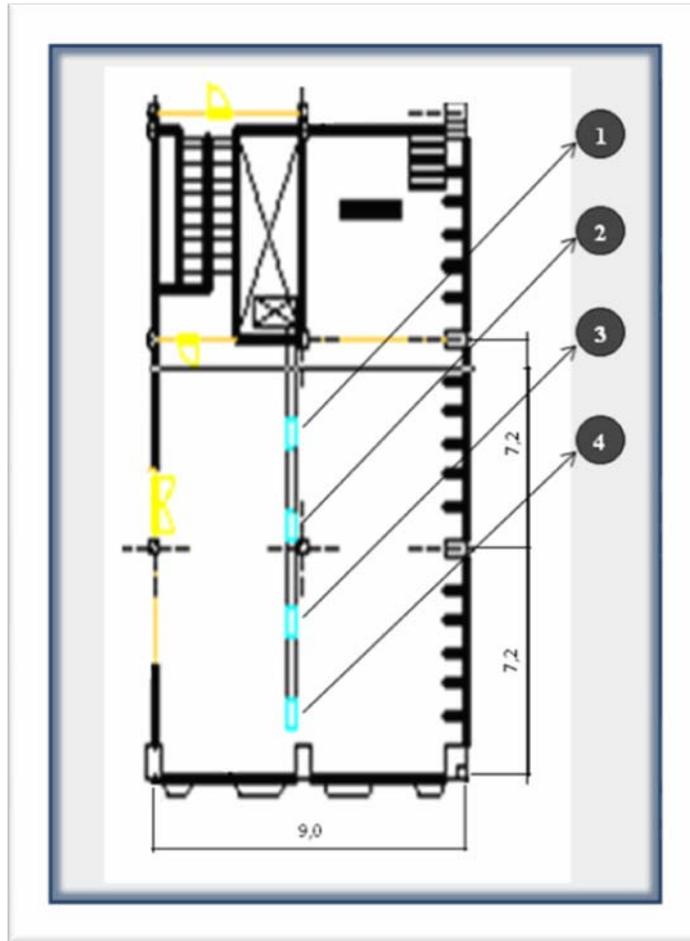


Figura 3.7. Zona crítica (Sala de estudio en el nivel 2.25 y 4.35), con sus respectivos puntos de muestreo longitudinales.

Fuente: El Autor (2009).

En la figura 3.8 se observa la unidad de aire acondicionado CARRIER, que ventila la zona crítica estudiada



Figura 3.8. Unidad *CARRIER*, modelo: 38AK-O12-511 perteneciente al área crítica objeto de estudio.

Fuente: El Autor (2009).

En esta etapa se definen todos los aspectos y factores que se tomaron en cuenta para realizar todas las mediciones requeridas, con el fin de evaluar la calidad del aire de la zona crítica del edificio, las variables medidas fueron las siguientes:

- ✓ Concentración del COVs Acetato de Vinilo ($C_4H_6O_2$).
- ✓ Temperatura, humedad relativa, velocidad y caudal de aire en las salidas de los ductos de aire acondicionado.

Debido a la presencia de distintas variables a medir, se estableció que se debían realizar diferentes procedimientos sistemáticos para llevar a cabo los procesos de medición para cada variable, por lo cual a continuación se explican detalladamente cada uno de ellos por separado:

3.6.3.1. Concentración del COVs Acetato de Vinilo (C₄H₆O₂)

El procedimiento llevado a cabo para realizar el proceso de medición de las concentraciones del Acetato de Vinilo presente en la zona crítica, no difiere en gran parte del procedimiento seguido para medir el índice de la concentración del mismo en toda la extensión de la Biblioteca en estudio, debido a que la variable de estudio (Concentración del C₄H₆O₂), es la misma, pero si es claro que el procedimiento no es en un 100% similar, ya que en el área crítica se debe realizar un estudio de mayor profundidad en cuanto a calidad del aire se refiere, es decir la matriz de medición utilizada para medir las concentraciones del COVs en dicha zona es el factor que difiere del proceso llevado a cabo para medir el índice de las concentraciones de los contaminantes en toda la biblioteca. A continuación se explica detalladamente la elaboración de la matriz de medición que se siguió para determinar las concentraciones de los COVs usando como referencia el Acetato de Vinilo presente en la zona crítica:

3.6.3.1.1. Determinación de ubicación y número mínimo de puntos de muestreo en el área crítica

De manera similar que en el procedimiento llevado a cabo para determinar la ubicación y el número mínimo de puntos de muestreo para medir el índice de las concentraciones de COVs de toda la Biblioteca en estudio, se llevó a cabo la selección y ubicación de cada punto de muestreo en el área crítica, cabe destacar lo enunciado en la norma COVENIN 3513 – 1999 “los puntos de muestreo deben estar ubicados a no menos de 1,5 m, o dos (2) diámetros equivalentes de distancia de la salida de gas a la atmosfera en estudio”, dicha atmosfera corresponde a la zona crítica anteriormente definida, por lo tanto para el número mínimo de puntos de muestreo se determinó que para cada salida de ventilación existiría un punto de muestreo, es decir que el número mínimo de puntos de muestreo es igual al numero de salidas de

ventilación con que cuenta el área crítica, lo que es igual a cuatro (4) puntos de muestreo longitudinales. A continuación se muestra un esquema de la ubicación de los puntos de muestreos longitudinales definidos para el área crítica:

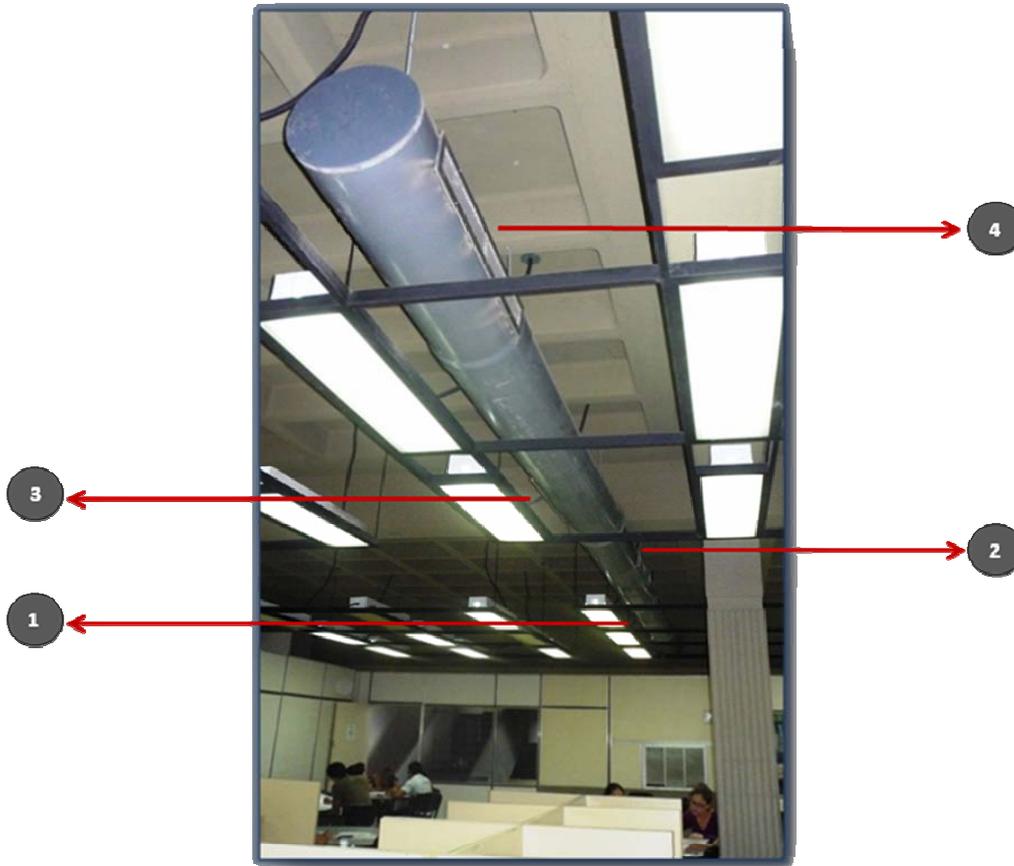


Figura 3.9. Puntos de muestreo longitudinales correspondientes al ducto de distribución de aire del área crítica

Fuente: El Autor (2009).

3.6.3.1.2. Determinación de las horas de medición

Para establecer las horas en las cuales se midieron los gases en la zona crítica, se tomó en cuenta lo reflejado por la Enciclopedia de salud y seguridad en el Trabajo, (M. Gracia Rosell 2003), citado anteriormente.

Las horas seleccionadas fueron las siguientes:

- ✓ 9 AM (inicio de la jornada)
- ✓ 4 PM (final de la jornada).

3.6.3.1.3. Instrumento de medición a utilizar

Para medir las concentraciones del gas contaminante en el área crítica, se utilizó el Detector Multigas Sirius marca MSA, el cual también fue usado para realizar las mediciones de las concentraciones del Acetato de Vinilo presente en todas las áreas de estudio de la Biblioteca. La lámpara utilizada fue: la de 9,8 eV debido a que es con la que cuenta el equipo por defecto como se mencionó anteriormente.

3.6.3.1.4. Cantidad de mediciones en cada punto de muestreo

Para determinar la cantidad de mediciones que eran necesarias realizar para obtener un resultado confiable y más cercano al valor de la magnitud real, fue necesario acudir a la “Guía para estimar la incertidumbre de la medición” publicada por el centro Centro Nacional De Metrología de México (CENAM), y a la norma Venezolana COVENIN 3631: 2000, los mismos establecen los lineamientos para estimar incertidumbres de medición, y plantean dos (2) métodos para cuantificar las fuentes de incertidumbres, el método de evaluación tipo A, y el método de evaluación tipo B, según lo reflejado en ambas guías, se puede determinar que la evaluación que se debe llevar a cabo para el presente proyecto es la evaluación tipo A, ya que para

dicho método se estima la distribución basándose en mediciones repetidas obtenidas del mismo proceso de medición.

Para el método de evaluación tipo A existen distintas consideraciones establecidas por el CENAM, entre las cuales se pueden asociar al presente estudio las siguientes:

- ✓ Un número grande de mediciones aumenta el tiempo de medición, que puede ser contraproducente, si las condiciones ambientales u otras magnitudes de entrada no se mantienen constantes en este tiempo.
- ✓ En pocos casos se recomienda o requiere n (numero de mediciones), mayor de diez, por ejemplo, cuando se caracterizan instrumentos o patrones, o se hacen calibraciones de alta exactitud.

El CENAM, también establece que las mediciones de variables requieren valores de n , menores o iguales a 10 ($n \leq 10$), por lo cual se utilizó un numero de $n = 10$, como valor máximo recomendado para la medición de concentraciones de los COVs por punto de muestreo presentes en el área crítica de la Biblioteca en estudio.

3.6.3.1.5. Cálculo de la incertidumbre

Una vez definido el tipo de método de evaluación por el cual se registró el presente estudio, y forma obtenidas las diez (10) mediciones en cada punto de muestreo, se procedió al cálculo de incertidumbres siguiendo el procedimiento explicado a continuación:

Método de evaluación tipo A:

- a) Se calculó la el promedio (media) de los resultados individuales, utilizando la siguiente ecuación:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^n q_j \quad (3.4)$$

Donde $n = 10$, ya que es la cantidad de valores que se midió en cada punto.

- b) La dispersión de los resultados de la medición se expresaron por su desviación estándar experimental, mediante la siguiente ecuación:

$$s(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (3.5)$$

- c) La incertidumbre estándar $u(x_i)$, se obtuvo mediante el calculo de la desviación estándar de la media, mediante la siguiente expresión:

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} \quad (3.6)$$

- d) Por ultimo, luego de calculada la incertidumbre experimental, esta se multiplicó por un factor de cobertura $k=2$, el cual asegura que se trabajó con un nivel de confianza de 95, 45%,

Nota: según la “Guía para estimar la incertidumbre de la medición” publicada por el centro Centro Nacional De Metrología de México (CENAM), el factor de cobertura $k=2$ se recomienda debido a la dificultad de asegurar un valor preciso de la incertidumbre, esto debido a las múltiples aproximaciones realizadas durante su estimación, de

igual forma el CENAM también enuncia que los resultados de las mediciones se deben expresar con un nivel de confianza no menor al 95%, por lo cual en el presente proyecto se utilizó el factor de cobertura $k = 2$.

3.6.3.1.6. Procedimiento experimental para la medición de concentración del Acetato de Vinilo mediante el PID

- 1) Se enciende el detector Multigas Sirius mediante la tecla ON/OFF, y esperar a que se enciendan todos los sensores que lo conforman.
- 2) Se procede a su inmediato ajuste al “cero”, mediante la opción **CALL ZERO?**
- 3) Nota: El ajuste al cero del instrumento se realizó diariamente al inicio de cada jornada de medición, tal como lo recomienda MSA, con el fin de asegurar la exactitud del gas patrón.
- 4) Se coloca el Detector Multigas Sirius, en el punto de medición seleccionado (1,5 m de cada salida de aire que acondiciona al área crítica ó dos (2) veces el diámetro del ducto según sea el caso).
- 5) Se procede a medir la concentración de contaminantes en el punto seleccionado.
- 6) Se registran los valores de concentraciones de gas medidos por el instrumento, en los formatos diseñados para su evaluación.
- 7) Se repiten los pasos 3 y 4 para cada salida de aire (punto de muestreo), en caso de que exista más de una.

En la figura 3.10. Que se muestra a continuación se observa un diagrama de flujo, donde se describe el procedimiento explicado anteriormente:

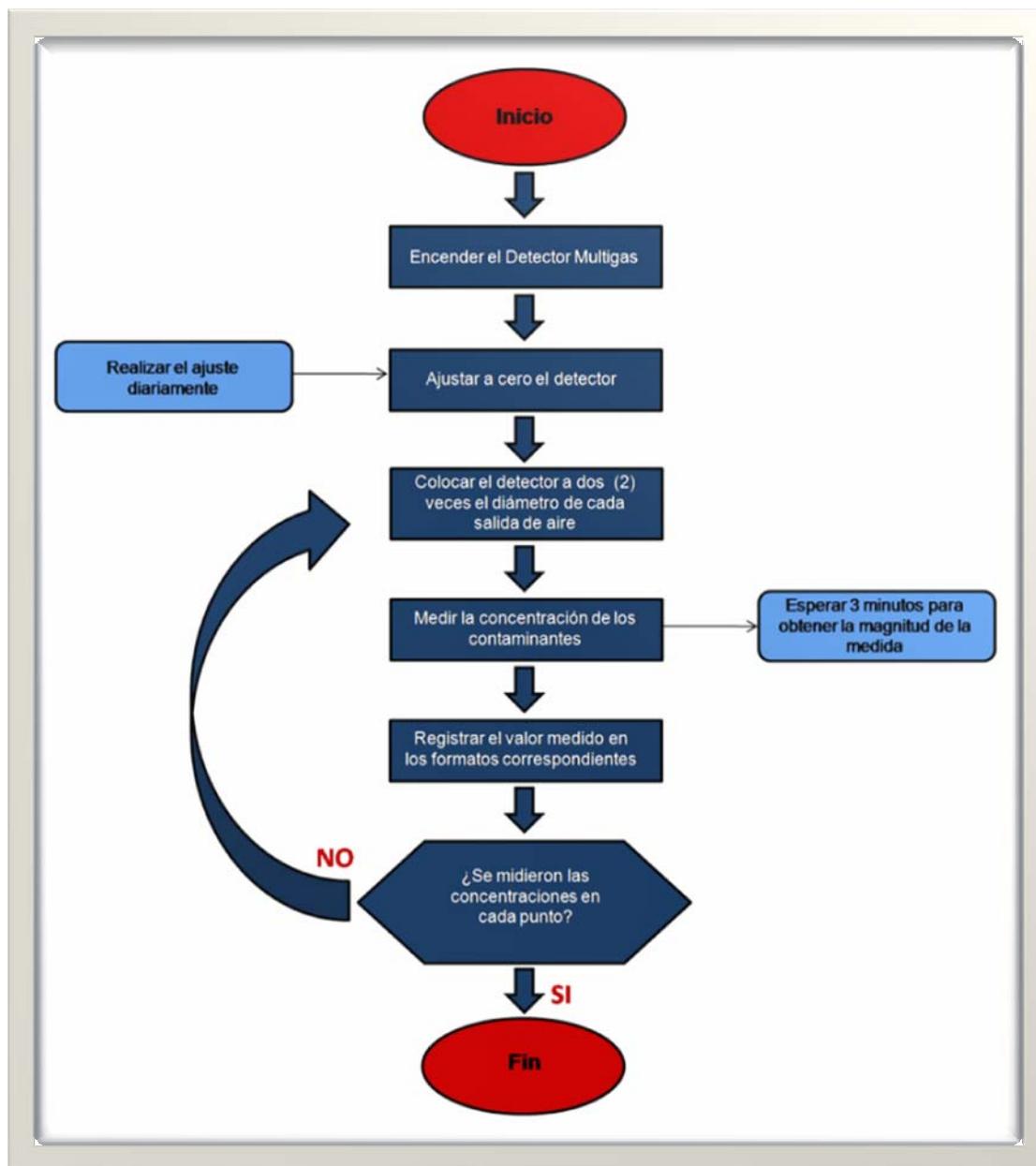


Figura 3.10. Diagrama de flujo para la medición de la concentración de $C_4H_6O_2$ en la zona crítica.

Fuente: El Autor (2009).

3.6.3.2. Medición de parámetros de confort (temperatura, humedad, velocidad y caudal del aire)

Con el fin de evaluar la calidad del aire en la zona crítica, se llevó a cabo la medición de los parámetros de confort del aire que acondiciona a dicha zona, la medición de estos parámetros es importante debido a que los mismos, junto con la concentración de los gases contaminantes presentes en el área, definen la calidad del aire, ya que estos pueden producir un aire que se perciba como irritante, viciado o enrarecido, es decir, de mala calidad; del mismo modo la importancia de esta medición radica en que las tasas de emisión de los contaminantes COVs varían con los cambios de temperatura y humedad, por lo cual fue necesario evaluar el comportamiento de los estos parámetros. Las mediciones de caudal fueron necesarias para estudiar la renovación de aire en la zona crítica, que al igual que las concentraciones de contaminantes, la temperatura y la humedad, representa un factor determinante y de suma importancia para la evaluación de la calidad del aire interior del recinto en estudio.

3.6.3.2.1 Determinación de ubicación y número mínimo de puntos de muestreo en el área crítica

Para determinar los parámetros de confort del en el área crítica, se recurrió a la aplicación de la norma Venezolana COVENIN 1649 – 1996. Cabe destacar que dicha norma es aplicable a todos aquellos ductos o chimeneas que contengan una corriente gaseosa, y que tengan un diámetro igual o mayor a 0,30 m ó una sección transversal igual o mayor a 0,071 m²

Es de suma importancia destacar que el ducto de aire perteneciente a la zona crítica de la Biblioteca, se apega completamente a la norma COVENIN 1649 – 1996

citada anteriormente, ya que la sección transversal del mismo es de forma circular y cuenta con un diámetro de 0,30 m como lo muestra la figura 3.11.

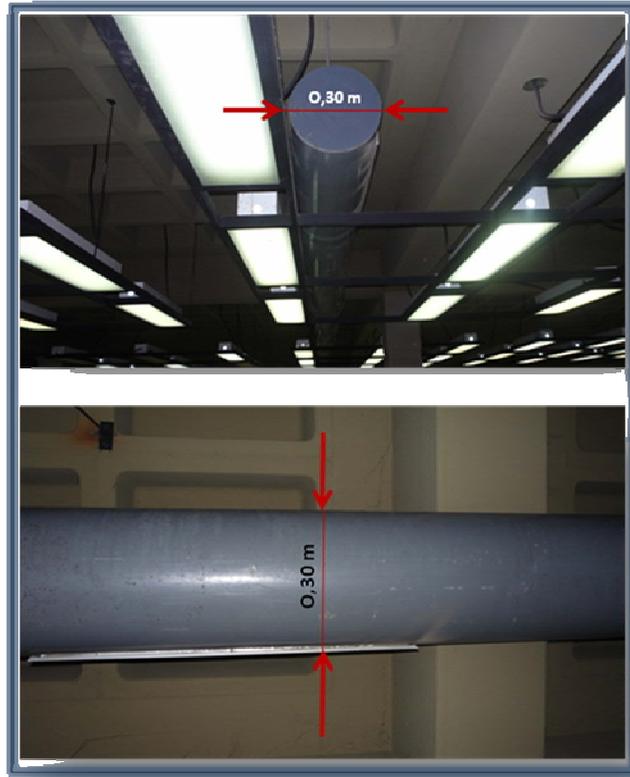


Figura 3.11. Diámetro del ducto de distribución de aire de acondicionamiento de la zona crítica.

Fuente: El Autor (2009).

Para determinar los puntos de muestreo por cada diámetro transversal del ducto de aire en estudio, se tomó en cuenta lo publicado en la norma COVENIN 1649 – 1996, bajo las siguientes consideraciones:

1. Para muestreo de gases o partículas, si el sitio de muestreo cuenta con un diámetro igual o mayor a 0,30m, el número mínimo de puntos transversales según el diámetro del ducto es el siguiente:
 - Doce (12) para ductos cuyo diámetro es superior a 0,61m
 - Ocho (8) para ductos cuyo diámetro este comprendido entre 0,30m y 0,61m.

Nota: Para el presente estudio se tomó en cuenta la segunda opción planteada por la norma anteriormente citada, debido a que se cuenta con un diámetro de 0,30 m de sección transversal del ducto en estudio, es decir que el número mínimo de puntos transversales de muestreo es ocho (8).

2. El número de puntos por diámetro es igual a la mitad del número mínimo de puntos transversales de muestreo.

Nota: Para el presente estudio corresponde a cuatro (4) puntos por diámetro de muestreo ($8/2 = 4$ ptos).

La localización de los puntos transversales de muestreo se realizó empleando la tabla titulada “localización de los puntos de muestreo transversales en un ducto de sección transversal circular” que se encuentra en el anexo E del presente trabajo. En la figura 3.12. mostrada a continuación se observa con detalle la ubicación de cada punto de muestreo transversal del ducto objeto de estudio:

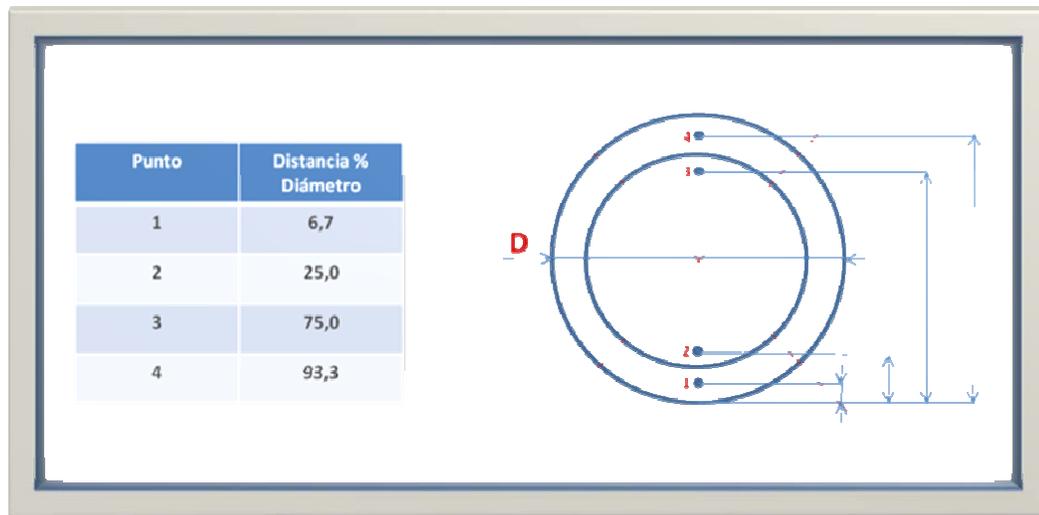


Figura 3.12. Localización de los puntos de muestreo transversales del ducto de la zona crítica.

Fuente: El Autor (2009).

Nota: la configuración mostrada en la figura 3.13. fue la misma utilizada para cada punto de muestreo a lo largo del ducto de aire de la zona crítica, esto se debe a que no existen codos ni perturbaciones en dicho ducto, ver figura 3.10.

3.6.3.2.2. Determinación de la hora de medición

Al momento de determinar la hora en la cual se medirían los parámetros de confort, se tomó en cuenta lo enunciado por la Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo: los parámetros de confort determinan la emisión de los compuestos orgánicos volátiles (COVs), en el interior de los edificios (Derrick Crump, , 2003), es decir que la variación de los mismos ocasiona a su vez una variación en las concentraciones de COVs, por este motivo se establecieron como horas de medición las mismas horas seleccionadas para la medición de los gases contaminantes en el área crítica con el fin de saber el comportamiento de las concentraciones de los gases

de estudio con respecto a la temperatura y la humedad, las horas seleccionadas fueron:

- ✓ 9 AM (inicio de la jornada).
- ✓ 4 PM (final de la jornada).

3.6.3.2.3. Instrumento de medición a utilizar para la medición de los parámetros de confort

El instrumento utilizado para la medición de la temperatura, la humedad y el caudal de aire que acondiciona el área crítica se realizó con el Datalogger DO2003, el cual es un instrumento portátil, específicamente estudiado para llevar a cabo medidas en el campo de la climatización, acondicionamiento, calefacción, ventilación, confort ambiental, ahorro energético, sea en el campo industrial como en el residencial, gracias a una completa serie de sondas dedicadas. Mide la velocidad y el caudal del aire en los conductos o boquetes con sondas de hilo caliente, de molinete, o tubo de Pitot; la humedad relativa y la temperatura con sondas combinadas; la presión diferencial hasta 2000 mbar y la presión barométrica; la temperatura con sondas de inmersión, penetración o contacto. Como Datalogger, memoriza hasta 12.000 lecturas que pueden ser transferidas a un PC conectado al instrumento mediante la puerta serial RS232C. Desde el menú es posible configurar el intervalo de memorización, la impresión, el Baud Rate. La función "Record" (RCD) calcula los valores máximo, medio y mínimo. Otras funciones del instrumento son: la medida relativa, la función Hold, la corrección del cero en las sondas de presión diferencial y en aquellas de hilo caliente (Delta OHM, 2003).

A continuación se muestra un esquema de partes del Datalogger DO2003 utilizado para medir los parámetros de confort:

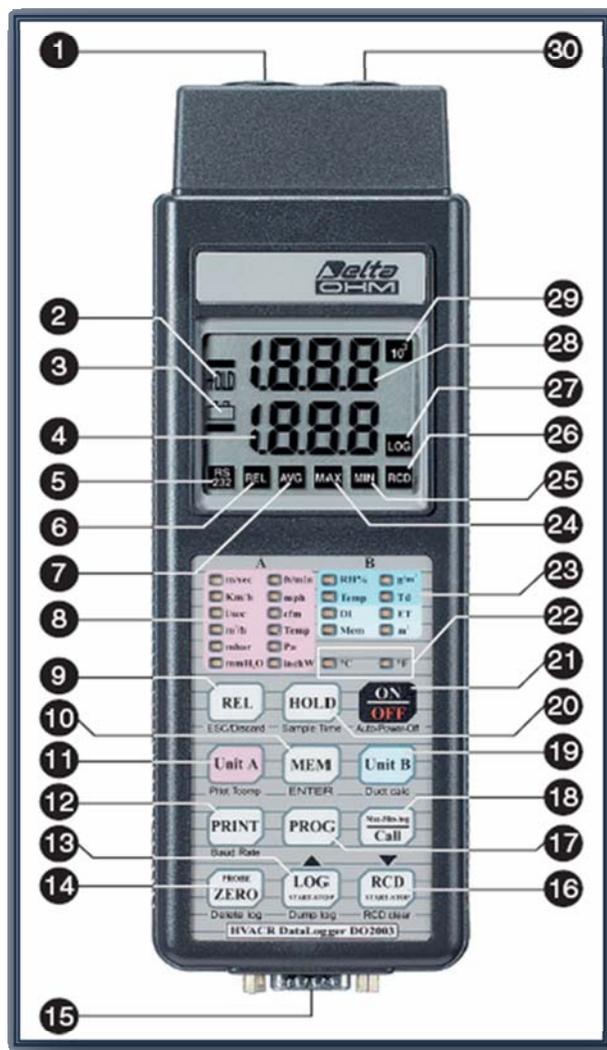


Figura 3.13. Datalogger DO2003 Marca Delta OHM.

Fuente: Delta OHM (2003).

Partes:

1. Ingreso A para la sonda de velocidad del aire, presión y temperatura Pt100 - Conector 8 polos DIN45326.
2. Símbolo HOLD: aparece al presionar la tecla HOLD.

3. Símbolo de batería: señala el nivel de carga de las baterías insuficientes (encendido fijo) o auto apagado inhabilitado (símbolo intermitente).
4. Segundo renglón de visualización relativo al módulo conectado al ingreso B.
5. Símbolo RS232: titila durante el envío de datos a la serial del instrumento.
6. Símbolo REL: aparece presionando la tecla REL para indicar que las medidas en curso son medidas relativas.
7. Símbolo AVG: el display indica los valores medios relevados con la función RCD.
8. Unidad de medida asociada a la variable visualizada en el primer renglón del display (sonda conectada al ingreso A).
9. Tecla <REL/Esc>: visualiza la diferencia entre el valor actual y el memorizado en el momento en el cual se presionó la tecla. Al interior de los programas, anula la operación en curso sin modificar los parámetros del instrumento.
10. Tecla <MEM/Enter>: memoriza el valor corriente para el cálculo del flujo. En los programas confirma el valor corriente.
11. Tecla <UNIT A/Pitot Tcomp>: selecciona la unidad de medida para el ingreso A. Al interno de los programas imposta la temperatura manual para la compensación de la medida provista por el tubo de Pitot.
12. Tecla <PRINT/Baud Rate>: activa la transmisión de los datos a través de la salida serial RS232. En los programas imposta el baud rate de la serial.
13. Tecla <LOG Start-Stop/Dump Log>: en medida orienta y detiene la memorización. Desde el programa dirige la de carga de los datos memorizados e incrementa el parámetro visualizado.
14. Tecla <Probe ZERO/Delete Log>: admite el ajuste de las sondas de velocidad de hilo caliente y de presión diferencial. Del programa permite la cancelación de los datos en la memoria.
15. Conector 9 polos para RS232C.

16. Tecla <RCD Start-Stop/RCD Clear>: activa y lleva a cabo la función Record; en los programas pone a cero las medidas precedentes de Record y disminuye el parámetro visualizado.
17. Tecla <PROG>: activa los programas del instrumento.
18. Tecla <Max-Min-Avg CALL>: recupera el valor máximo (MÁX), mínimo (MIN) y medio (AVG) relevados con la función Record.
19. Tecla <UNIT B/DuctCalc>: selecciona la unidad de medida para el ingreso B. Al interno de los programas realiza el cálculo del flujo en los conductos.
20. Tecla <HOLD/SampleTime>: congela las medidas corrientes. Al interno de los programas imposta el número de medidas para el cálculo de la media corriente.
21. Tecla <ON/OFF>: prende y apaga el instrumento.
22. Unidad de medida de la temperatura relativa a dos ingresos.
23. Unidad de medida asociada a la variable visualizada en la segunda línea del display (sonda conectada al ingreso B).
24. Símbolo MAX: el display indica los valores máximos relevados con la función RCD.
25. Símbolo MIN: el display indica los valores mínimos relevados con la función RCD.
26. Símbolo RCD: indica que la función record está activada.
27. Símbolo LOG: indica que la función de memorización está activada.
28. Primera línea de visualización relativa a la sonda conectada al ingreso A.
29. Símbolo 103: indica factor multiplicador (x1000) para el canal A.
30. Ingreso B para las sondas de humedad relativa y temperatura Pt100 - Conector de 8 polos DIN45326.

A continuación se muestra la figura 3.14. en la cual se indican cada una de las partes del Datalogger DO2003:

Especificaciones técnicas el equipo:

La tabla 3.17. mostrada a continuación, refleja los datos técnicos del instrumento de medición Datalogger DO2003, utilizado para la medición de las condiciones de confort en las salidas de aire de acondicionamiento en la zona crítica.

Tabla 3.17. Datos Técnicos Del Datalogger DO2003.

| Alojamiento | |
|--|---|
| Dimensiones (largo x ancho x alto) | 210x72x40mm |
| Peso | 320g (baterías incluidas) |
| Materiales | ABS |
| Display | Doble LCD 12.5mm |
| Normas estándar EMC | |
| Grado de protección | IP64 |
| Seguridad | EN61000-4-2, EN61010-1 nivel 3 |
| Descargas electrostáticas | EN61000-4-2 nivel 3 |
| Transistores eléctricos veloces | EN61000-4-4 nivel 3, EN61000-4-5 nivel 3 |
| Variaciones de tensión | EN61000-4-11 |
| Susceptibilidad a las interferencias Electromagnéticas | IEC1000-4-3 |
| Emisión interferencias electromagnéticas | EN55020 clase B |
| Condiciones operativas | |
| Temperatura operativa | -5 ... 50°C |
| Temperatura de almacenaje | -20 ... 60°C |
| Humedad relativa de trabajo | 0 ... 90% HR no condensación |
| Alimentación | |
| Baterías 4 baterías | 1.5V tipo AA |
| Autonomía | Aprox. 150 horas con baterías alcalinas |
| Seguridad de los datos memorizados | Independiente de la carga de las baterías |
| <i>Tiempo</i> | |
| Fecha y hora | horario en tiempo real |
| Precisión | 1min/mes máx. desviación |
| Memorización de los valores medidos | |
| Cantidad | 12.000 muestras |
| Intervalo de memorización | 1 seg. ... 1 hora |

Fuente: Delta OHM (2003)

Tabla 3.17. Datos Técnicos Del Datalogger DO2003. (continuación)

| Interfaz serial | |
|----------------------------------|--|
| Tipo | RS232C aislada galvánicamente |
| Baud rate | programable de 300 a 38400 baud |
| Bit de datos | 8 |
| Paridad | Ninguna |
| Bit de stop | 1 |
| Control de flujo | Xon/Xoff |
| Largo cable | Máx 15m |
| Intervalo de impresión inmediata | 1 seg. ... 1 hora 5 seg. ... 1 hora con baud rate = 300 |
| Conexiones | |
| Ingreso sondas o módulos | Conector 8 polos DIN45326 |
| Interfaz serial | Conector DB9 (9 polos macho) |

Las Sondas:

Las sondas del datalogger están provistas de un módulo "inteligente" (SICRAM) que hace de interfase entre el sensor puesto en la sonda y el instrumento DO2003. En el interior del módulo hay un circuito de microprocesador con memoria permanente que le permite al datalogger reconocer el tipo de sonda conectada: temperatura, humedad, presión y velocidad del aire, en la memoria se conservan los datos de calibración de la sonda. De esta manera las sondas son intercambiables y pueden ser utilizadas indiferentemente en cualquier DO2003. (*Delta OHM 2003*).

Sonda para la medición de velocidad, temperatura y caudal:

La sonda AP471 S1, mide flujos de aire incidente hasta 40 m/s, y es conectada al instrumento (datalogger DO2003), mediante el ingreso A del instrumento. Esta sonda a su vez es capaz de medir temperaturas de ambiente en el rango de -30 hasta 110 (°C). Este modulo es calibrado en fábrica, por lo tanto no requiere calibración por parte del usuario, sin embargo, es recomendable que antes de llevar a cabo cualquier

medición se corrija “el cero” de la sonda, es decir, que en ausencia de viento, los valores de velocidad y caudal provistos por dicha sonda sea igual a cero.

Para realizar el ajuste del cero de la sonda AP471 S1, con el fin de obtener valores de caudal y velocidad del aire más precisos se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- a) Se desliza la pantalla cilíndrica hacia lo alto, hasta cerrar completamente la ventana del sensor de velocidad ubicada en el ápice de la sonda.
- b) Se posiciona la cabeza de la sonda en el flujo del aire a medir y se pulsa la tecla PROBE ZERO. (Delta OHM 2003)

Luego de esto, eventuales errores o variaciones sobre los valores instantáneos correspondientes a la velocidad y el caudal del aire son anulados.

Las figuras 3.14, 3.15 y 3.16 muestran las partes de la sonda y sus respectivas dimensiones así como también la forma correcta de colocarla al momento de medir,.

Funcionamiento de la sonda:

- ✓ Extender el asta telescópica el largo necesario prestando atención para que el cable pueda deslizarse libremente y sin esfuerzos dentro del mango.
- ✓ Cubrir el sensor de velocidad y resetear la medida como se explica en el párrafo precedente.
- ✓ Descubrir el sensor e introducir la sonda en el flujo de aire a medir, manteniendo la línea presente en el ápice de la sonda paralela al flujo como está indicado en la figura 3.14.

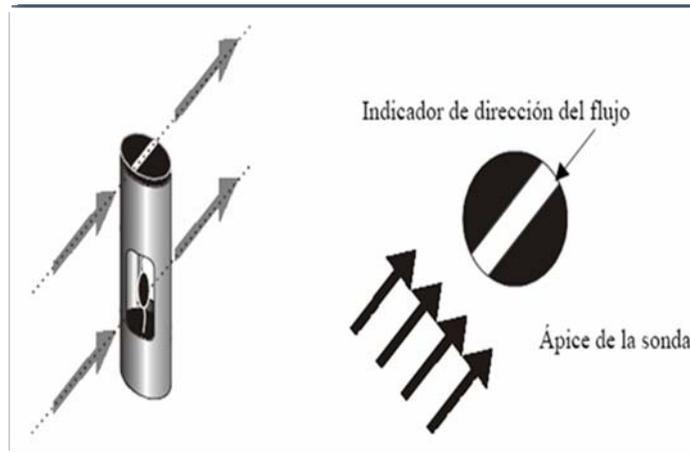


Figura 3.14. Manera correcta de colocar la sonda AP471S1 con relación al flujo de aire al momento de realizar las mediciones.

Fuente: Delta OHM (2003).

La sonda se mantiene ortogonal al flujo y no va inclinada respecto de éste como lo indica la figura 3.16. Mostrada a continuación:

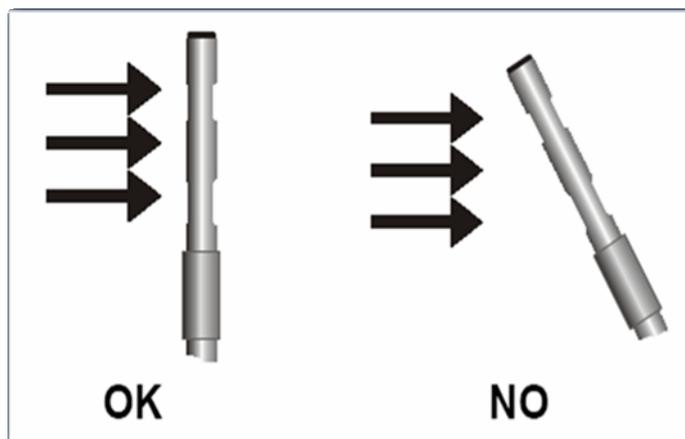


Figura 3.15. Manera correcta de colocar la sonda AP471 S1 al momento de realizar las mediciones.

Fuente: Delta OHM (2003).

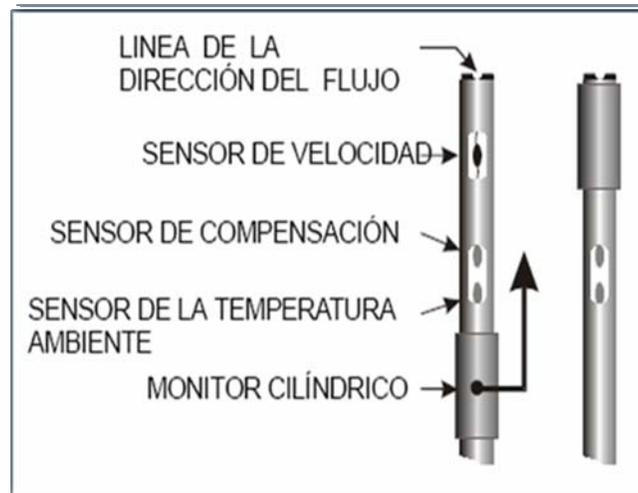


Figura 3.16. Partes de la sonda AP471 S1

Fuente: Delta OHM (2003)

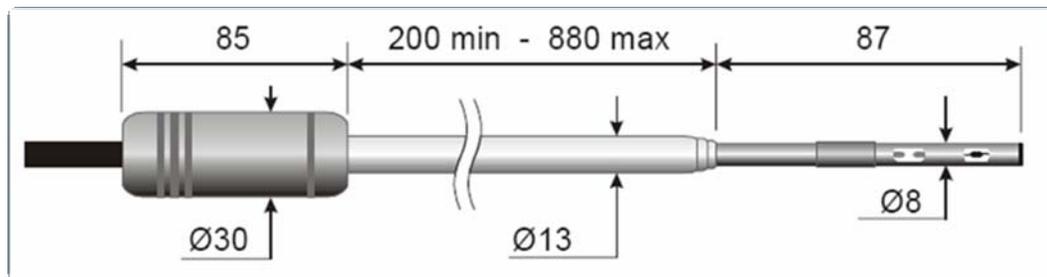


Figura 3.17. Dimensiones de la sonda AP471 S1 utilizada.

Fuente: Delta OHM (2003)

A continuación se muestra la tabla 3.18. correspondiente a la ficha técnica de la sonda de hilo caliente AP471 S1, con la cual se midió la velocidad del aire y la temperatura del mismo.

Tabla 3.18. Datos Técnicos de la sonda AP471 S1.

| Tipo de medida | Velocidad del aire, caudal calculado, temperatura del aire |
|---|--|
| Tipo de sensor | |
| Velocidad | Termistor NTC |
| Temperatura | Termistor NTC |
| Rango de medida | |
| Velocidad | 0...40m/s |
| Temperatura | -30...+110° C |
| Resolución de la medida | |
| Velocidad | 0.01 m/s (0...19.99 m/s) |
| | 0.1 m/s (20.0...40.0m/s) |
| | 0.1 km/h |
| | 1 ft/min (0...1999 ft/min) |
| | 0.01·103 ft/min (hasta 7.87·103) |
| 0.1 mph | |
| Temperatura | 0.1°C (-30...+110°C) |
| Precisión de la medida | |
| Velocidad | ±0.05 m/s (0...0.99 m/s) |
| | ±0.2 m/s (1.00...9.99 m/s) |
| | ±0.6 m/s (10.00...40.0 m/s) |
| Temperatura | ±0.4°C (-30...+110°C) |
| Velocidad mínima | 0 m/s |
| Compensación de la temperatura del aire | 0...80°C |
| Duración de las baterías | Aprox. 20 horas @ 20 m/s con baterías alcalinas |
| Unidad de medida | |
| Velocidad | m/s – km/h – ft/min – mph |
| Caudal | l/s – m ³ /h – cfm |
| Sección del conducto para el cálculo del caudal | .001...1.999 m ² |
| Largo del cable | 2 m aproximadamente |

Fuente: Delta OHM (2003).

3.6.3.2.4. Cantidad de mediciones en cada punto de muestreo

Para definir la cantidad de mediciones en cada punto de muestreo, se utilizó la “Guía para estimar la incertidumbre de la medición” publicada por el CENAM (Centro de Metrológica de México), y la norma Venezolana COVENIN (3631 -

2000), que se titula “Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones”. Para la medición de los parámetros de confort, se definió que la incertidumbre para la cuantificación de estas fuentes es de tipo A, de igual manera que lo establecido para la medición de la concentración de los gases, la similitud de ambos procesos de cuantificación, existe debido a que el los mismos requieren de un análisis estadístico de una serie de mediciones repetitivas bajo las mismas condiciones de medición, para obtener un valor mas preciso y de menor incertidumbre. Cabe destacar que las consideraciones del método tipo A, aplicables al proceso de medición de la concentración de los gases explicado anteriormente también se emplearon a este procedimiento, por cual se determinó que el número de mediciones de las variables de confort sería de $n = 10$.

3.6.3.2.5. Cálculo de la incertidumbre (para cada punto de muestreo)

Para obtener la incertidumbre en cada punto de muestreo luego de obtener las diez (10) mediciones por cada uno de los puntos, se llevó a cabo el procedimiento para el cálculo de la incertidumbre, basándose en la aplicación del método de evaluación tipo A, dicho procedimiento es análogo al explicado anteriormente para la medición de la concentración del COVs. (Acetato de Vinilo $C_4H_6O_2$)

3.6.3.2.6. Procedimiento experimental para la medición de la temperatura, velocidad y caudal del aire que circula por la ducteria perteneciente a la zona crítica

1. Cerciorarse de que el compresor del aire funciona de manera continua, ajustando el termostato, para así mantener de manera estable las variables del interior de la zona crítica: temperatura, humedad relativa y velocidad del aire.
2. Se espera a que se estabilicen las variables mencionadas anteriormente, es decir, que las mismas permanezcan constantes, y luego se registran sus valores.

3. Se ingresa el área de sección transversal del ducto de aire estudiado en el Datalogger DO2003, en pulgadas cuadradas.

Nota: para el presente experimento se expresa:

$$A_{(\text{Sección transversal ducto})} = \pi \times r^2 = \pi \times (0,15\text{m})^2 = 0,0707\text{m}^2 = \mathbf{109,58\text{plg}^2}$$

4. Se realiza la medición en cada punto de muestreo de la sección transversal del ducto en estudio, en orden ascendente permaneciendo la sonda en cada punto por quince (15) segundos.
5. Repetir todos los pasos anteriormente mencionados en las cuatro (4) salidas de aire de acondicionamiento en el área crítica.
6. Una vez finalizadas las mediciones, el DO2003 es conectado a la computadora mediante su puerto SERIAL, para descargar los datos obtenidos.

En la figura 3.18. que se muestra a continuación se observa con detalle un diagrama de flujo, donde se describe el procedimiento experimental para la medición con el Datalogger DO2003:

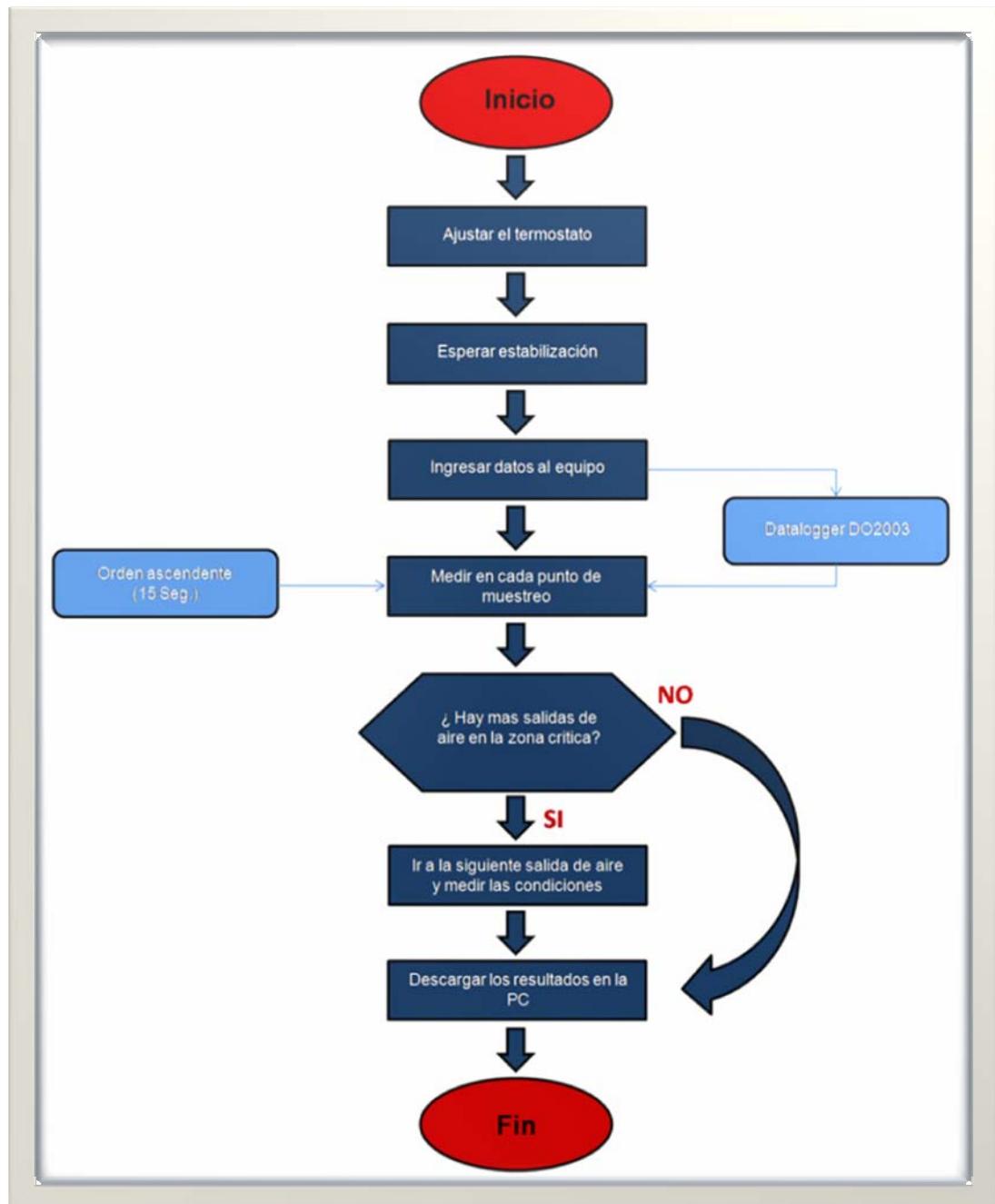


Figura 3.18. Diagrama de flujo para la medición de las variables de confort.

Fuente: El Autor (2009).

3.6.4. Medición de la Concentración del Acetato de Vinilo y los Parámetros de Confort en la Zona Crítica

3.6.4.1 Ciclos de medición

a) *Medición de Temperatura, humedad, velocidad y caudal del aire que circula a través la ductería de la zona crítica:*

Las mediciones fueron realizadas bajo cuatro (4) ciclos, cada uno de ellos conformado por cinco días de medición, con el fin de obtener un resultado con baja incertidumbre, tomando en cuenta lo reflejado por el CENAM.

El CENAM también refleja que un número grande de mediciones aumenta el tiempo de medición, que puede ser contraproducente, ya que las condiciones ambientales u otras magnitudes de entrada no se mantienen constantes en un largo período tiempo, por ello al terminar los cuatro (4) ciclos de medición deben haberse completado veinte (20) días de medición de la temperatura, humedad, velocidad y caudal del flujo de aire acondicionado que circula por el ducto estudiado. Cabe destacar que cada ciclo corresponde a cada salida aire del ducto en estudio, es decir, que al completar cinco días de medición se obtendrá el comportamiento de las concentraciones del gas medido en función de la temperatura, humedad, velocidad y caudal del aire en cada salida de ventilación. Medir de esta forma permitió establecer comparaciones entre el comportamiento de un compuesto orgánico volátil muy común en ambientes cerrados como lo es el Acetato de Vinilo y la estrecha relación que éste guarda con los parámetros de confort. A continuación se muestra el cronograma de medición correspondiente a la temperatura, velocidad y caudal del aire para cada punto de muestreo longitudinal existente en la zona crítica:

Tabla 3.19. Cronograma para la medición de temperatura, velocidad y caudal del aire de la zona crítica para el Punto de muestreo longitudinal 1 (rejilla de suministro 1).

| <i>Punto de muestreo # 1</i> | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| <i>Día</i> | <i>1</i> | | <i>2</i> | | <i>3</i> | | <i>4</i> | | <i>5</i> | |
| <i>Horas de medición</i> | 9am | 4pm |
| <i>VARIABLES a medir</i> | T,V,Q | T,V,Q |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 3.20. Cronograma para la medición de temperatura, velocidad y caudal del aire de la zona crítica para el Punto de muestreo longitudinal 2 (rejilla de suministro 2).

| <i>Punto de muestreo # 2</i> | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------|-------|
| <i>Día</i> | <i>6</i> | | <i>7</i> | | <i>8</i> | | <i>9</i> | | <i>10</i> | |
| <i>Horas de medición</i> | 9am | 4pm | 9am | 4pm | 9am | 4pm | 9am | 4pm | 9am | 4pm |
| <i>VARIABLES a medir</i> | T,V,Q | T,V,Q | T,V,Q | T,V,Q | T,V,Q | T,V,Q | T,V,Q | T,V,Q | T,V,Q | T,V,Q |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 3.21. Cronograma para la medición de temperatura, velocidad y caudal del aire de la zona crítica para el Punto de muestreo longitudinal 3 (rejilla de suministro 3).

| <i>Punto de muestreo # 3</i> | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| <i>Día</i> | <i>11</i> | | <i>12</i> | | <i>13</i> | | <i>14</i> | | <i>15</i> | |
| <i>Horas de medición</i> | 9am | 4pm |
| <i>VARIABLES a medir</i> | T,V,Q | T,V,Q |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 3.22. Cronograma para la medición de temperatura, velocidad y caudal del aire de la zona crítica para el Punto de muestreo longitudinal 4 (rejilla de suministro 4).

| <i>Punto de muestreo #4</i> | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| <i>Día</i> | <i>16</i> | | <i>17</i> | | <i>18</i> | | <i>19</i> | | <i>20</i> | |
| <i>Horas de medición</i> | 9am | 4pm |
| <i>Variables a medir</i> | T,V,Q | T,V,Q |

Fuente: El Autor (2009)

Donde:

T: temperatura.

Q: caudal de aire.

V: velocidad del flujo de aire.

b) *Medición de la concentración del Acetato de Vinilo presente en la zona crítica*

Al igual que lo establecido para la medición de las variables anteriormente mencionadas, de acuerdo con lo enunciado por el CENAM, y lo establecido por la norma Venezolana COVENIN (3631 - 2000), se determinó que el estudio individual del área crítica se realizaría en cuatro (4) ciclos de estudio, cada uno correspondiente a cinco (5) días de medición, lo que se traduce en veinte (20) días de muestreo continuo en las horas previamente establecidas. La medición de la concentración del contaminante encontrado, se realizó de forma paralela a la de la temperatura, humedad, velocidad y caudal del aire, con el fin de conocer el comportamiento de las emisiones y variaciones de las concentraciones del Acetato de Vinilo con respecto a dichas variables. A continuación se muestran los cronogramas correspondientes a la medición de las concentraciones del Acetato de Vinilo, así como también sus respectivas horas de medición y los días de duración del estudio de cada punto de muestreo por separado.

Tabla 3.23. Cronograma para la medición de concentración en la zona crítica Punto de muestreo 1.

| <i>Ciclo 1 (Punto de muestreo 1)</i> | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|
| <i>Día</i> | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| <i>Horas</i> | 9am | 4pm |
| <i>Variable</i> | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 3.24. Cronograma para la medición de concentración en la zona crítica Punto de muestreo 2.

| <i>Ciclo 2 (Punto de muestreo 2)</i> | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|-----------|-----|
| <i>Día</i> | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | |
| <i>Horas</i> | 9am | 4pm | 9am | 4pm | 9am | 4pm | 9am | 4pm | 9am | 4pm |
| <i>Variable</i> | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 3.25. Cronograma para la medición de concentración en la zona crítica Punto de muestreo 3.

| <i>Ciclo 3 (Punto de muestreo 3)</i> | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| <i>Día</i> | 11 | | 12 | | 13 | | 14 | | 15 | |
| <i>Horas</i> | 9am | 4pm |
| <i>Variable</i> | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 3.26. Cronograma para la medición de concentración en la zona crítica
Punto de muestreo 4.

| <i>Ciclo 3 (Punto de muestreo 4)</i> | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>Día</i> | 16 | | 17 | | 18 | | 19 | | 20 | |
| <i>Horas</i> | <i>9am</i> | <i>4pm</i> |
| <i>Variable</i> | <i>C</i> |

Fuente: El Autor (2009)

Donde:

C: concentración de Acetato de Vinilo.

3.6.4.2. Formatos de medición

Luego de llevar a cabo la recolección de los datos arrojados por cada medición realizada, fue necesario plasmar los mismos en formatos diseñados para este fin, los formatos utilizados se muestran a continuación:

Tabla 3.27. Formato para la recolección de datos del ciclo 1 y 2 (puntos de muestreo longitudinales 1 y 2).

| | | Ciclo 1 | | | | | | | | | | | | Ciclo 2 | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|--|
| | | <i>Punto de muestreo longitudinal 1</i> | | | | | | | | | | | | <i>Punto de muestreo longitudinal 2</i> | | | | | | | | | | | | |
| | | Cant. De med. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | | Cant. De med. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Día 1 | 9am | C | | | | | | | | | | | Día 6 | 9am | C | | | | | | | | | | | |
| | | T | | | | | | | | | | | | | T | | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | 4pm | C | | | | | | | | | | | 4pm | C | | | | | | | | | | | | |
| | | T | | | | | | | | | | | | T | | | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | | | |
| Día 2 | 9am | C | | | | | | | | | | | Día 7 | 9am | C | | | | | | | | | | | |
| | | T | | | | | | | | | | | | | T | | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | 4pm | C | | | | | | | | | | | 4pm | C | | | | | | | | | | | | |
| | | T | | | | | | | | | | | | T | | | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | | | |
| Día 3 | 9am | C | | | | | | | | | | | Día 8 | 9am | C | | | | | | | | | | | |
| | | T | | | | | | | | | | | | | T | | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | 4pm | C | | | | | | | | | | | 4pm | C | | | | | | | | | | | | |
| | | T | | | | | | | | | | | | T | | | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | | | |

Fuente: el autor (2009)

Tabla 3.27. Formato para la recolección de datos del ciclo 1 y 2 (puntos de muestreo longitudinales 1 y 2).

| | | Ciclo 1 | | | | | | | | | | | | Ciclo 2 | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|--------|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | | <i>Punto de muestreo longitudinal 1</i> | | | | | | | | | | | | <i>Punto de muestreo longitudinal 2</i> | | | | | | | | | | | |
| | | Cant. De med. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | | Cant. De med. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Día 4 | 9am | C | | | | | | | | | | | Día 9 | 9am | C | | | | | | | | | | |
| | | T | | | | | | | | | | | | | T | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | |
| | 4pm | C | | | | | | | | | | | | 4pm | C | | | | | | | | | | |
| | | T | | | | | | | | | | | | | T | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | |
| Día 5 | 9am | C | | | | | | | | | | | Día 10 | 9am | C | | | | | | | | | | |
| | | T | | | | | | | | | | | | | T | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | |
| | 4pm | C | | | | | | | | | | | | 4pm | C | | | | | | | | | | |
| | | T | | | | | | | | | | | | | T | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | |

C: Concentración del $C_4H_6O_2$ medido en (ppm).T: Temperatura en ($^{\circ}C$)

H: Humedad relativa. (%)

Nota: El formato para la recolección de datos correspondiente al ciclo 3 y 4 se encuentran en el anexo B

3.6.4.3. Generalidades de medición

Para realizar las mediciones se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) Existirán tantos puntos de muestreo como sean necesarios para satisfacer la cantidad de salidas de aire que existan en el área crítica, es decir, existe una relación directamente proporcional entre los puntos de muestreo y las salidas de aire con las que cuente el área crítica en cuanto a medición de Acetato de Vinilo.
- 2) Se estudió la relación existente entre la concentración del Acetato de Vinilo con la humedad y temperatura por separado con el fin de facilitar el análisis de los resultados obtenidos y lograr obtener información más detallada del comportamiento de dicho gas con respecto a las variables anteriormente mencionadas y su efecto en la calidad del aire.
- 3) La medición del caudal de aire en cada salida de aire de acondicionamiento de la zona crítica se realizó con el fin de analizar el impacto que tiene una mala o buena recirculación de aire en la calidad del mismo, de igual forma, se midió el número de personas presentes en la zona crítica estudiada con el fin de obtener la relación de la misma con la recirculación de aire en el recinto.
- 4) Las horas de medición seleccionadas son las mismas para cada una de las variables de estudio, esto con el fin de evaluar el comportamiento de las mismas al inicio de la jornada y al final de la misma del edificio en estudio.
- 5) Es importante diferenciar que en el presente experimento cuando se habla de puntos de muestreo longitudinales se refiere específicamente a la medición de la humedad y de la concentración del COVs estudiado, y cuando se hace referencia a los puntos de muestreo transversales, se refiere específicamente a la medición de la temperatura, humedad, velocidad y caudal del aire que mantiene ventilada a la zona crítica.

3.6.5. Establecimiento de los Límites Permisibles

Para lograr establecer los límites permisibles de los gases contaminantes presentes en el recinto en estudio, fue necesario llevar a cabo el procedimiento de selección de los gases explicado en detalle anteriormente, para posteriormente evaluar las normas pertinentes. Cabe destacar que establecer dichos límites permitió obtener una idea de cual debía ser el comportamiento de cada gas en cuanto a concentraciones al momento de realizar las mediciones de las mismas.

Las normas consultadas para establecer dichos límites fueron: la Norma **COVENIN 2253-2001**, titulada “Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición” y **ASHRAE-62** para confort humano, de igual manera se consultó lo enunciado por la **EPA** (Environmental Protection Agency). National Ambient Air Quality Standards”, así como también lo reflejado por el Consenso de la OMS sobre contaminantes en ambientes cerrados según el nivel de conocimiento de 1984. Como principal herramienta de información se utilizó la norma **COVENIN 2253-2001**. Es importante mencionar que paralelo al establecimiento de los límites permisibles de los gases contaminantes se obtuvo información acerca de los índices biológicos de exposición (IBE), límites de exposición breve (LEB), límite techo (T), así como también saber si la sustancia estudiada es o no un asfixiante simple, esto para cada gas medido.

3.6.6. Comparación De Los Valores Obtenidos Experimentalmente Mediante las Mediciones con los Valores Permisibles Enunciados en las Normas Correspondientes

Esta etapa se basó en la comparación de las magnitudes obtenidas mediante el proceso de la toma de datos experimentales de la concentración del acetato de Vinilo, así como también los valores obtenidos de temperatura, humedad relativa y velocidad

del aire presente en la zona crítica, con los valores permisibles establecidos por la norma COVENIN 2253-2001, y 2250 - 2000, esto con el fin de conocer si el Acetato de Vinilo muestreado excede el límite permisible específico para su concentración en lugares de trabajo, así como también relacionar los valores de temperatura, humedad y velocidad del aire obtenidos experimentalmente con los permisibles enunciados en las normas correspondientes, esto con la finalidad de conocer las fallas que traen como consecuencia la mala calidad del aire que ocupa el área crítica de la Biblioteca en estudio. Cabe destacar que esta etapa del presente proyecto constituyó un factor fundamental para la investigación desarrollada, ya que la misma ayudó a obtener información vital al momento de plantear las estrategias de reducción de COVs y mejoramiento del aire en cuanto a confort térmico, debido a que conociendo el comportamiento del Acetato de Vinilo como gas de referencia con respecto al límite permisible establecido por la norma mencionada anteriormente y los parámetros de confort térmico estudiados, se logró diseñar técnicas de mejoramiento de la calidad del aire específicas para las condiciones estudiadas. La tabla 3.28. que se muestra a continuación contiene los valores de concentración medidos para el Acetato de Vinilo, así como también la temperatura, humedad y velocidad del aire presente en la zona crítica y los respectivos límites permisibles enunciados en las normas consultadas:

Tabla 3.28. Comparación de los valores de concentración arrojados por las mediciones y los límites permisibles planteados por la norma COVENIN 2253-2001

| Variable | Unidad | Valor medido | Valor permisible |
|------------------------------------|--------|--------------|------------------|
| Concentración de Acetato de Vinilo | ppm | 7,54 | 10 |
| Temperatura | °C | 28,52 | (22-24) |
| Humedad Relativa | % | 55,80 | (45-55) |
| Velocidad del aire | m/s | 9,64 | 6,56 |

Fuente: El Autor (2009)

Nota:

- a) La magnitud correspondiente a la concentración medida de Acetato de Vinilo mostrada en la tabla 3.28 corresponden al promedio de valores de las mismas en la etapa de diagnóstico, usado como valor de referencia para explicar el proceso de comparación
- b) Las normas consultadas para realizar las comparaciones correspondientes a la medición de cada variable estudiada con su respectivo límite permisible fueron las citadas en el capítulo II del presente trabajo, específicamente el punto 2.4 correspondiente a las bases legales.

3.6.7. Evaluación de la Calidad del Aire Mediante el Monitoreo de la Concentración de los Gases Contaminantes en el Ambiente Interior de la Biblioteca en Estudio

Para lograr el cumplimiento de la presente etapa fue necesario evaluar el sistema de aire acondicionado de la zona crítica, tomando en cuenta los siguientes factores:

3.6.7.1 Especificaciones técnicas de los equipos de acondicionamiento de aire de la zona crítica

La tabla 3.29 mostrada a continuación contiene las especificaciones técnicas de los equipos de aire acondicionado presente en la zona crítica de la biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui:

Tabla 3.29. Especificaciones Técnicas del equipo de acondicionamiento de aire de la zona crítica

| | |
|---------------------------------------|-----------------|
| N° de equipos | 1 |
| CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS | |
| Tipo | SPLIT |
| CONDENSADORA | |
| Marca | CARRIER |
| Modelo | 38AK-O12-511 |
| Serial | 3701G02133 |
| Capacidad | 10 TR |
| EVAPORADORA | |
| Marca | CARRIER |
| Modelo | 40RM-012-B610GC |
| Serial | 3701F10707 |
| Capacidad | 10 TR |

Fuente: El Autor (2009).

3.6.7.2 Características y forma de instalación de los equipos de aire acondicionado

Los equipos de expansión directa tipo Split que conforman el sistema de aire acondicionado del edificio en estudio, están divididos por unidades evaporadoras instaladas en los espacios interiores y unidades condensadoras instaladas en el exterior de la edificación; ambas unidades se encuentran interconectadas a través de tuberías de cobre las cuales transportan el refrigerante, que es el fluido encargado de eliminar la carga sensible y latente de los espacios interiores de la biblioteca. En la figura 3.19. se puede observar un equipo Split como los utilizados en la biblioteca estudiada, en la figura 3.20. se observan los componentes principales y en la figura 3.21. una evaporadora de 10 toneladas de refrigeración de la zona crítica objeto de estudio

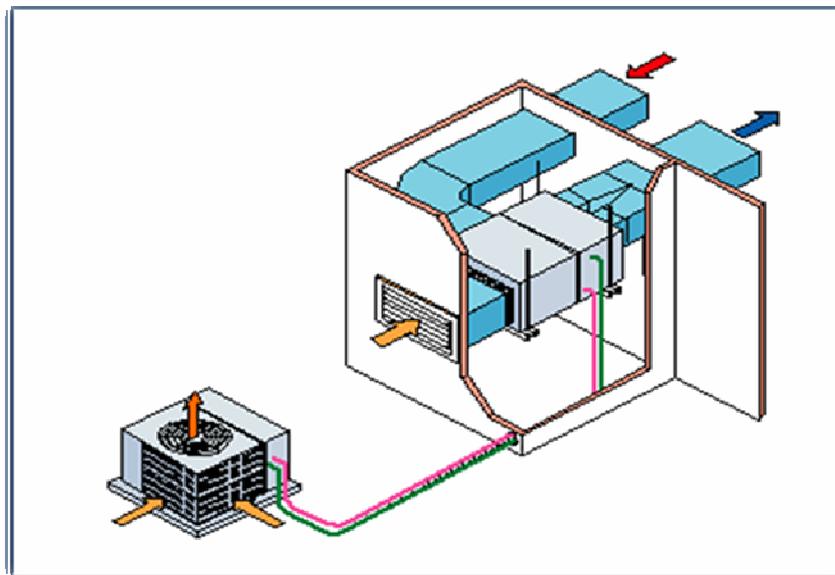


Figura 3.19. Equipo de expansión directa tipo Split.

Fuente: Quadri, N. (2001)

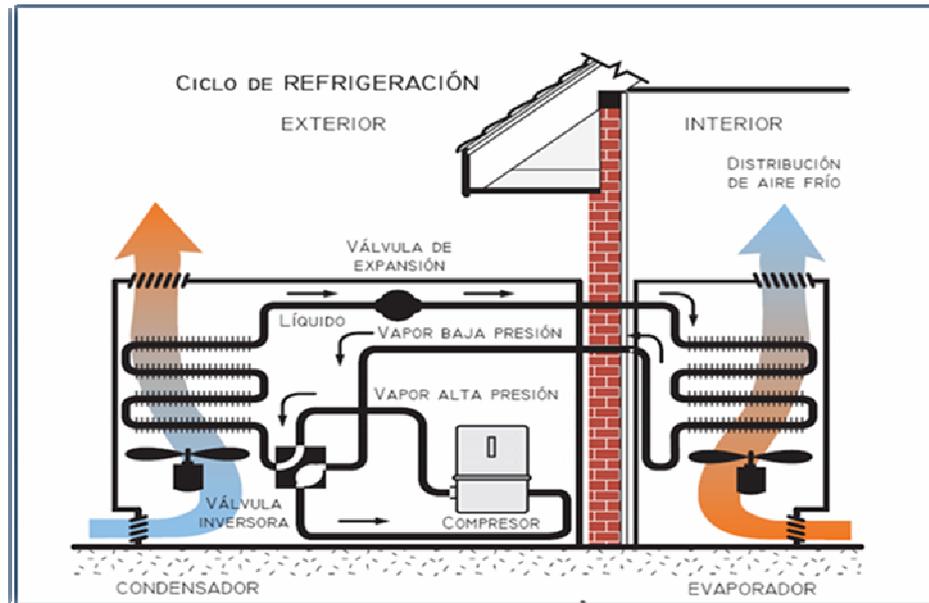


Figura 3.20. Componentes principales equipo de expansión directa tipo Split.

Fuente: Quadri, N. (2001)



Figura 3.21. Evaporadora de 10 toneladas de refrigeración zona crítica

Fuente: El Autor (2009)

En la Figura 3.22. mostrada a continuación se observa la evaporadora de 10 toneladas de refrigeración (TR) que se encarga de la refrigeración de la zona crítica de la biblioteca en estudio.

En el anexo E del presente trabajo se observan algunas formas de instalación de los equipos Split como lo son:

- Equipo Split con la condensadora instalada en el techo de la edificación y la evaporadora en el ambiente interior.
- Equipo Split con la condensadora instalada en el piso del exterior de la edificación y la evaporadora en el ambiente interior.

3.6.7.3 Horarios de funcionamiento y régimen de uso de los equipos de aire acondicionado en la zona crítica

Para poder determinar la situación actual de los equipos del sistema de aire acondicionado, es necesario saber el régimen de funcionamiento que se les da a los mismos, para ello se tomaron en cuenta las entrevistas realizadas a la directora de la biblioteca y al personal que realiza el mantenimiento y se observó que dichos equipos presentan la característica de operar de manera continua 24 horas durante los 365 días del año. Esta característica de funcionamiento continuo obedece a que las salas donde se almacenan las colecciones de libros, tesis y revistas requieren de ambientes con temperaturas y humedades constantes, ya que el efecto de las fluctuaciones de la temperatura y humedad sobre las colecciones de libros, tesis y revistas constituye un riesgo para el papel, debido a que el deterioro químico del papel es mucho más veloz si se expone a variaciones de temperatura que si se almacena a una temperatura constante.

3.6.7.4 Contexto operacional de los equipos de aire acondicionado de la zona crítica

A partir de toda la información recopilada en cada etapa del presente estudio se elaboró el contexto operacional de los equipos de aire acondicionado de la zona crítica. Dicho contexto operacional contiene toda la información referente al funcionamiento de los equipos, lo que comprende: componentes principales, parámetros de operación, mantenimiento existente, listado de los equipos existentes, nivel de detalle, etc. En general, el mismo permite percibir con facilidad que es lo que se desea del sistema, que parámetros de su funcionamiento realmente se conocen y cuáles no. Es decir, con el contexto operacional de estos equipos se puede determinar la razón principal por la que el sistema existe.

Luego se define el propósito para el cual fueron adquiridos los equipos del sistema de aire acondicionado de la biblioteca; esto implica establecer las razones principales por las cuales el sistema existe, es decir, lo que se quiere que haga en la instalación y de lo que es capaz (Funciones Principales), también, en algunos casos, se definen cuales son las funciones secundarias, dicho de otra manera, las prestaciones del sistema cuya pérdida afecta el funcionamiento de la biblioteca pero solo parcialmente.

Es importante señalar que este paso es de suma importancia, ya que constituye el inicio del desarrollo del Análisis de la calidad del aire del recinto en estudio, ya que conociendo su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada falla y sus posibles consecuencias. A continuación se define el propósito y la descripción de los equipos del sistema de aire acondicionado de la zona crítica de la biblioteca objeto del presente estudio:

Propósito: Mantener acondicionada térmicamente la zona crítica de la biblioteca en estudio, a las condiciones de confort establecidas por las normas: COVENIN, ASHRAE, UGT y la Biblioteca Nacional (1998), donde se recomienda para las salas de lectura un rango de temperatura entre 22-24 °C y un rango de humedad entre 45-55% aprox.

Descripción: El sistema de aire acondicionado de la Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” está conformado por una población de treinta (30) equipos de expansión directa tipo Split de diferentes capacidades térmicas con una capacidad total de refrigeración de 225,5 toneladas. La muestra a estudiar serán los equipos pertenecientes a la zona crítica, la cual cuenta con un equipo de expansión directa tipo Split, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en la tabla 3.30 del presente trabajo.

3.6.7.5 Fallas, molestias o problemas detectados en los equipos

Tomando en cuenta que las fallas funcionales pueden producirse de varias maneras, es importante conocer las causas (modos) que provocan dichas fallas funcionales, utilizando como herramienta informativa a los operarios, especialistas o encargados del mantenimiento que hayan tenido una larga asociación con los equipos, el fabricante o vendedor de los mismos, entre otros, esto con la finalidad de considerar cada modo de falla en el nivel más apropiado, para asegurar que no se malgastara demasiado tiempo en el análisis de la falla en sí mismo. La mayoría de los modos de fallas, que se tomaron en cuenta, incluyeron:

- Fallas que se han producido antes en el mismo equipo, o en otro de características similares.
- Modos de fallas que son objeto de mantenimiento cíclico preventivo los cuales se producirían de no realizarse el mismo.

- Otros modos de falla, que aunque no se han producido antes, se consideraron muy posibles.

Una vez realizado esto, los modos de falla que producen cada falla funcional fueron registrados, esto con la finalidad de evaluar los efectos asociados con cada modo de falla, permitiendo, hacer una descripción de los mismos; concretamente se hizo constar: si existe alguna evidencia de que se ha producido una falla, la manera en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente, la manera en que afecta al confort de los usuarios y en consecuencia el funcionamiento de la biblioteca, los daños físicos causados por la falla y que se debe hacer para prevenirla.

Es importante destacar que el personal encargado del mantenimiento de los equipos de aire acondicionado de la Biblioteca en estudio no lleva un histórico de fallas de dichos equipos. No se conocen parámetros como el tiempo promedio entre fallas (TPEF), el tiempo promedio fuera de servicio (TPFS), y el tiempo promedio para reparar (TPPR), entre otros. No se llevan registros de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, entre otros., por lo tanto, no se cuenta con un histórico para la prevención de las fallas y para la evaluación de actividades y frecuencias. De igual forma se destaca que el mantenimiento predictivo no es tomado como herramienta para la prevención de fallas por el personal encargado del mantenimiento de los equipos de acondicionamiento de aire en la biblioteca en estudio, las actividades predictivas no son vistas como una herramienta que ayude mucho a la hora de prevenir fallas o anticiparse a las mismas. No se realizan análisis de confiabilidad que permitan un seguimiento de las actividades predictivas realizadas, así como el registro estadístico de fallas de los equipos.

3.6.7.6 Programas de mantenimiento preventivo realizados a los equipos de aire de la zona crítica

Debido a que el factor humano es una pieza fundamental en las teorías de Confiabilidad, y que de éste depende la optimización del funcionamiento de los equipos, se realizó una encuesta a los estudiantes y al personal que labora en la biblioteca, con la finalidad de medir el nivel de satisfacción en relación con el confort térmico de cada espacio acondicionado, en la cual participaron 346 estudiantes y 35 empleados para un total de 381 personas. Para evaluar el confort térmico se emplearon 381 cuestionarios para recabar la percepción de cada persona.

- **Mantenimiento Preventivo basado en frecuencias fijas**

Las actividades de mantenimiento son netamente preventivas y se realizan a intervalos fijos. Las frecuencias no se modifican por largos períodos de tiempo. Esto permite que muchas veces las fallas ocurran en períodos anteriores a la actividad de mantenimiento planificada y no se realiza ningún estudio que explica o busque una solución a esta situación.

- **No se realizan actividades de Mantenimiento Predictivo sin frecuencia**

No se lleva un seguimiento exhaustivo de la evolución de las vibraciones de los componentes de las unidades de evaporación y condensación (rodamientos, eje de los motores, compresores, entre otros.). Esto impide la obtención de información importante por parte de este análisis, ya que la obtención de una falla en un análisis puntual requiere personal altamente calificado y con conocimientos de equipos similares.

- **Personal con poco dominio de técnicas de Mantenimiento Predictivo**

El personal posee serias deficiencias en materia de mantenimiento predictivo. No conoce la mayoría de las técnicas ni su aplicación. Tampoco han sido formados en la cultura del mantenimiento proactivo (3era Generación) sino más bien en el mantenimiento preventivo a frecuencias fijas (2da Generación).

- **Falta de equipos y herramientas**

La empresa contratada que realiza el mantenimiento cuenta con los equipos y herramientas básicas para garantizar su funcionamiento. Sin embargo muchas veces se debe recurrir a medios externos para suplir ciertas necesidades. Cuando se necesitan máquinas de soldar, prensas hidráulicas, herramientas especializadas, entre otras., para ejecutar ciertos trabajos, se debe buscar fuentes externas que causan retrasos en el trabajo.

- **No se manejan indicadores para la gestión de mantenimiento.**

La empresa que actualmente realiza el mantenimiento no maneja indicadores de gestión tales como: Disponibilidad de equipos, confiabilidad de equipos, rata de fallas, tiempo promedio para reparar, impactos de producción por actividades de mantenimiento.

- **No se cuenta con un inventario de repuestos y materiales para cubrir el mantenimiento de los equipos de aire acondicionado de la biblioteca.**

La Universidad de Oriente no dispone de inventarios de repuestos y materiales para el sistema de aire acondicionado, los mismos son obtenidos a través de un procedimiento de compra muy lento, mediante órdenes de compras emitidas al

Departamento de Compras por la dirección de la biblioteca cuando son solicitadas por la empresa que realiza el mantenimiento.

- **La empresa contratada no cuenta con programas de capacitación para su personal**

El personal de la empresa contratista ha sido formado en la cultura del mantenimiento preventivo a frecuencias fijas, lo cual necesita ser formado en técnicas de mantenimiento predictivo, y actualmente la empresa no dispone de programas de capacitación para su personal en técnicas de este tipo de mantenimiento.

3.6.7.7 Verificación de posibles recirculaciones y fallas en la renovación de aire fresco

Para verificar el estado de la recirculación de aire del recinto crítico estudiado, fue necesario primero medir el caudal del aire en la extracción (rejilla de succión) del sistema de acondicionamiento de aire del área crítica estudiada, para ello se recurrió una vez más a la norma Venezolana COVENIN 1649 - 1996, en la cual se especifican los parámetros y factores a considerar al momento de medir el caudal de aire para un ducto de sección transversal rectangular del mismo modo que los de sección transversal circular. Para medir dicha variable se utilizó el medidor de caudal Datalogger DO2003 Marca Delta OHM, así como también la sonda AP471 S1, con la cual se midieron los 4 caudales de entrada de aire en la misma zona.

El área de sección transversal del ducto de succión de aire es de $0,63 \text{ m}^2$, dicha magnitud se apega a lo enunciado por la norma COVENIN mencionada con anterioridad, la cual establece que:

- Dicha norma es aplicable a todo ducto o chimenea que emita una corriente gaseosa.
- La chimenea o ducto debe tener un diámetro igual o mayor a 0,30 m, ó una sección transversal igual o mayor a 0,071 m².

Estas dos (2) condiciones aseguran el perfecto ajuste de la norma al presente experimento de calidad de aire presentado en este trabajo, una vez justificado el uso de la norma COVENIN 1649 – 1996, se procedió a seguir el procedimiento de muestreo enunciado en ella y que se muestra a continuación:

Obtención del Diámetro equivalente del ducto de sección transversal rectangular:

Mediante la siguiente ecuación:

$$Dr = \frac{2 \times L \times A}{L + A} \quad (3.5)$$

Donde:

Dr: diámetro equivalente expresado en m.

L: es el lado menor de la sección transversal interna del ducto expresado en m.

A: es el lado mayor de la sección transversal interna del ducto expresado en metros.

Sustituyendo en (3.5), se obtiene:

$$Dr = \frac{2 \times 0,70m \times 0,90m}{0,70m + 0,90m}$$

$$Dr = 0,8775m$$

Número mínimo de puntos transversales de muestreo (rejilla de extracción):

La norma indica que para la obtención del número mínimo de puntos transversales de muestreo se debe seguir el mismo procedimiento que en los ductos de sección transversal circular, pero utilizando el valor del diámetro equivalente anteriormente mostrado, es decir, se toma en cuenta que el número mínimo de puntos transversales de muestreo es igual a doce (12), ya que el diámetro equivalente es mayor a 0,61 m ($0,7875\text{ m} > 0,61\text{ m}$). Luego de definir el número mínimo de puntos de muestreo y utilizando la tabla 3.30 mostrada a continuación, se obtiene la matriz de muestreo.

Tabla 3.30. Distribución de puntos de muestreo en chimeneas o ductos de sección transversal rectangular.

| Número de puntos en la sección transversal | Matriz de Distribución |
|--|------------------------|
| 9 | 3 x 3 |
| 12 | 4 x 3 |
| 16 | 4 x 4 |
| 20 | 5 x 4 |
| 25 | 5 x 5 |
| 30 | 6 x 5 |
| 36 | 6 x 6 |
| 42 | 7 x 6 |
| 49 | 7 x 7 |

Fuente: Norma COVENIN 1649 (1996).

Distribución y localización de los puntos de muestreo:

La ubicación de los puntos en la sección transversal se obtiene dividiendo cada lado entre los valores indicados en la matriz, de manera de obtener el número de áreas

rectangulares iguales correspondientes al total de puntos de muestreo; los puntos deben estar ubicados en el centro de estas áreas, véase figura 3.22:

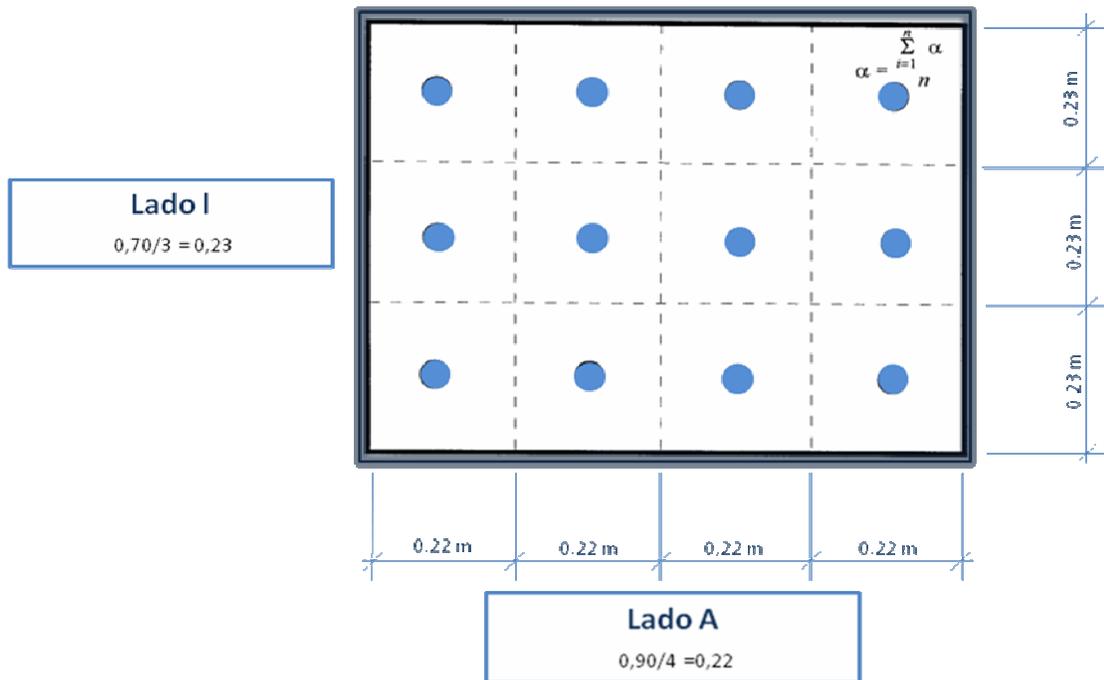


Figura 3.22. Distribución y localización de los puntos de muestreo obtenidos

Fuente: El Autor (2009)

3.6.7.8 Presencia de gases contaminantes

Luego de realizados los procedimientos de muestreos necesarios para conocer que gas tenía presencia dentro del área crítica en estudio, se procedió a la medición de su concentración respectiva, para luego analizar sus valores mediante la comparación de los mismos con las normas pertinentes así como también la consulta de documentos relacionados con la calidad del aire y concentraciones permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo. Cabe destacar que para la medición del contaminante (Acetato de Vinilo), fue necesario establecer una matriz de medición

que satisficiera las variables implicadas en el contexto estudiado, con el fin de obtener magnitudes con el menor valor de incertidumbre posible, de igual forma es necesario resaltar el uso de la norma Venezolana COVENIN 1649-1996, titulada “Chimeneas y ductos. Determinación de la ubicación y numero mínimo de puntos de muestreo” y la norma COVENIN 3513 – 1999, para establecer los puntos de muestreo de gases de dicha matriz, con el fin de realizar las mediciones correspondientes a las concentraciones del COVs Acetato de Vinilo, en los puntos de muestreo más idóneos, así como también el uso de la norma Venezolana COVENIN 2253-2001, y la norma COVENIN 3159-1995 que se titula “calidad de aires. Aspectos generales. Unidades de medición”, para definir tanto los límites permisibles de los gases contaminantes, como las unidades con las cuales expresar los valores medidos, estas normas se usaron como referencia para validar el método de muestreo llevado a cabo para realizar la fase del presente experimento concerniente a la medición de las concentraciones del COVs específicamente del Acetato de Vinilo.

3.6.7.9 Medición de temperatura y humedad como principales factores de la Calidad del Aire

La evaluación de la calidad del aire de cualquier ambiente interior, no puede completarse sin un estudio de las variables de confort mas importantes como son la temperatura y la humedad relativa, debido a que ambas variables, definen el comportamiento de las concentraciones de los gases contaminantes, en este caso el Acetato de Vinilo, así como también sus fuentes de emisión, el motivo principal por el cual este estudio contempla la medición de las concentraciones es porque mediante estas se conoce y se evalúa la variación de dicha concentración, es decir la manera en la cual se ven afectados los contaminantes de interior con variaciones de temperatura y humedad, es importante resaltar que dicha medición se realizó para cada punto de muestreo por separado con el fin de conocer el comportamiento del gas con respecto a la temperatura y la humedad en cada punto, esto permite tener una noción mas clara

del comportamiento del contaminante para así plantear una estrategia específica para la disminución o eliminación del mismo, aplicable en cada área de estudio.

No se debe confundir la mediciones de temperatura realizadas mediante el Datalogger DO2003 con las realizadas con el Psicrómetro Digital, ya que la primera, se realizó en las salidas de aire de la ducteria presente en la zona crítica con el fin de realizar comparaciones de las mismas con el comportamiento de los gases COVs presentes en dicha zona, y la segunda se determinó con la finalidad conocer la temperatura de bulbo seco del ambiente estudiado, ya que es necesario realizar los experimentos en días con condiciones de temperatura y humedad similares como lo indica el CENAM y así contar con un monitoreo de dichas variables en toda las instalaciones de la biblioteca objeto del presente estudio.

3.6.7.9.1. Medición de la temperatura en el interior de la zona crítica

Todos los ambientes de una biblioteca, especialmente las salas de lectura, deben ser térmicamente confortables. Las condiciones de temperatura y humedad del interior para el diseño de bibliotecas, pueden determinarse de acuerdo con las condiciones de criterio de confort establecidas por ASHRAE (1981). Para determinar las condiciones atmosféricas interiores de los diferentes espacios del edificio de la Biblioteca “Dr. Luis García Pelissier”, se realizaron una serie de mediciones de temperatura con un Sicrómetro digital como el mostrado en la Figura 3.23. cuyas especificaciones técnicas son las siguientes:

- Marca: A.W. SPERRY
- Rango de Temperatura: 0 °C – 50 °C (32 °F– 122 °F)
- Rango de Humedad Relativa: 2% - 98%



Figura 3.23. Psicrómetro Digital

Fuente: El Autor (2009)

Los registros de temperatura y humedad relativa se hicieron en la zona crítica durante un período de 5 días continuos en las dos horas de estudio definidas para las demás variables medidas (9:00 am y 4:00 pm) con la finalidad de ayudar a identificar la deficiencia térmica de dicha zona. Para los efectos de éste estudio, se tomarán los valores promedio de temperatura del espacio estudiado

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Diagnostico del índice de la concentración del acetato de vinilo en la zona crítica de la biblioteca” Dr. Luis garcía Pellisier” de la universidad de oriente núcleo Anzoátegui

4.1.1. Resultados de las encuestas realizadas

Como se explicó con detalle en el capítulo tres (3) del presente proyecto, se realizaron dos tipos de encuestas, cuyos resultados se analizan a continuación:

Cuestionario realizado a los estudiantes:

Pregunta 1. En este momento, ¿está usted cómodo con la temperatura que hay en esta biblioteca?

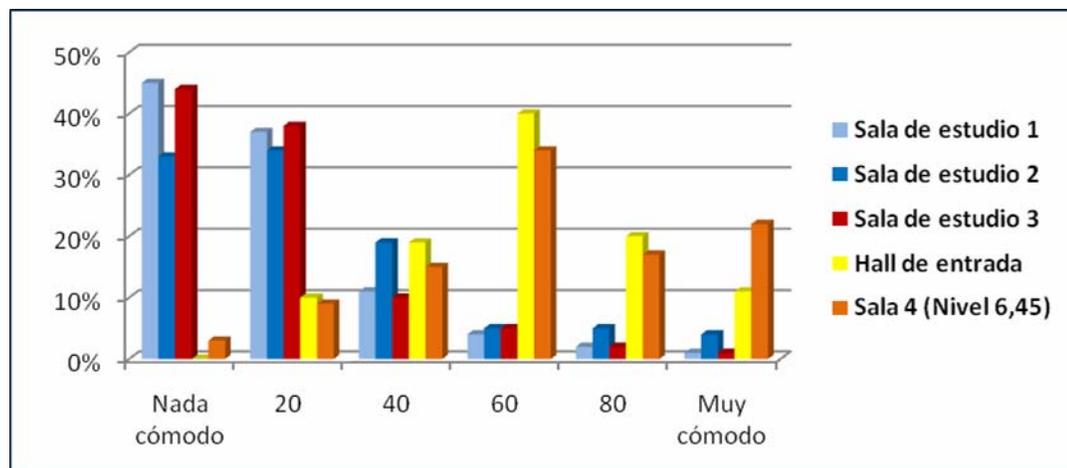


Figura 4.1. Respuesta a la pregunta 1 de la encuesta dirigida a los estudiantes de la biblioteca en estudio.

En la figura 4.1 mostrada anteriormente se observa que la mayor inconformidad en cuanto a temperatura por parte de los estudiantes se obtiene en la sala de estudio 1 correspondiente al nivel (2.25 y 4.35), representada por un 45% del estudiantado encuestado, dicha pregunta refuerza la idea de que el área de mayor estrés térmico y por ende menor calidad de aire es la sala de estudio 1.

Pregunta 2. *¿Presenta algún tipo de síntomas de enfermedad en su visita a la Biblioteca?*

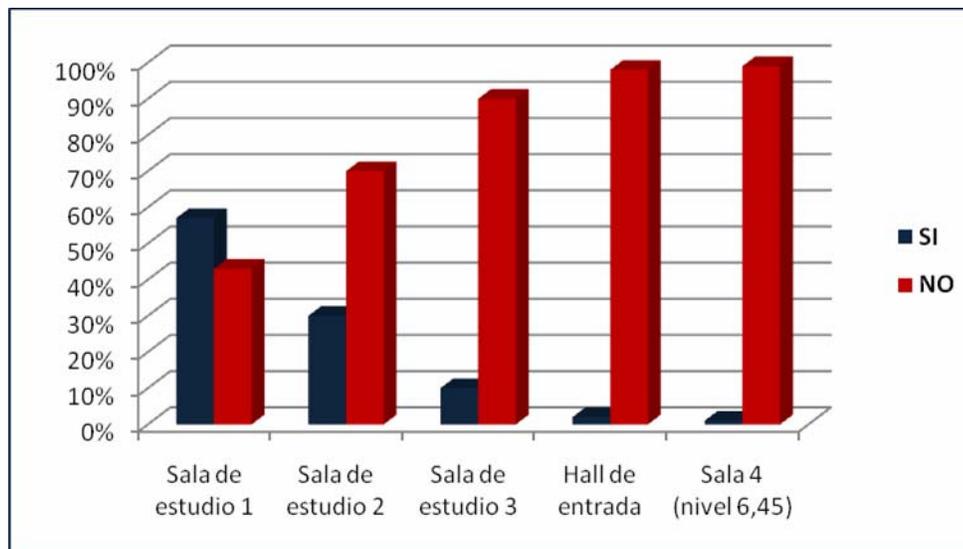


Figura 4.2. Respuesta a la pregunta 2 de la encuesta dirigida a los estudiantes de la biblioteca en estudio.

Fuente: *El Autor (2009)*

Observando detenidamente la figura 4.2 mostrada, se obtiene una tendencia clara del comportamiento de los encuestados en cuanto al termino “edificio enfermo”, el cual está representado por síntomas en los visitantes del edificio estudiado, y en el cual se observa que la mayor cantidad de síntomas de enfermedades se presentan en los visitantes de la sala de estudio 1, a la cual tienen acceso los estudiantes, indicativo del enrarecimiento del aire de dicha área por parte de la presencia de contaminantes

de interior, así como también por malas condiciones de confort en la misma. (Ver figura 4.3, para obtener información detallada de los síntomas presentados).

Donde:



Figura 4.3. Síntomas presentados en los estudiantes de la sala 1.

Fuente: El Autor (2009)

En la figura 4.3 se observan los valores obtenidos mediante la encuesta realizada a los estudiantes en la sala de estudio 1, una vez establecida como la sala en la cual se presenta la mayor población de estudiantes con síntomas de enfermedad, de la misma se obtuvo que el 37% de la población encuestada presenta síntomas alérgicos al visitar las instalaciones del recinto estudiado, lo que sugiere la presencia de algún contaminante debido al déficit de renovación de aire fresco al área de estudio, factor que afecta la calidad de aire del recinto. Cabe destacar que si bien las alergias son el resultado de la presencia de contaminantes biológicos, también son representativas de la presencia de olores desagradables como los emanados por productos de limpieza unida a una baja cantidad de cambios de aire por hora, menor a la estipulada por las normas, así como también por valores altos de humedad relativas en el recinto estudiado.

Pregunta 3. *¿Percibe Ud. Olores desagradables en su permanencia en la Biblioteca?*

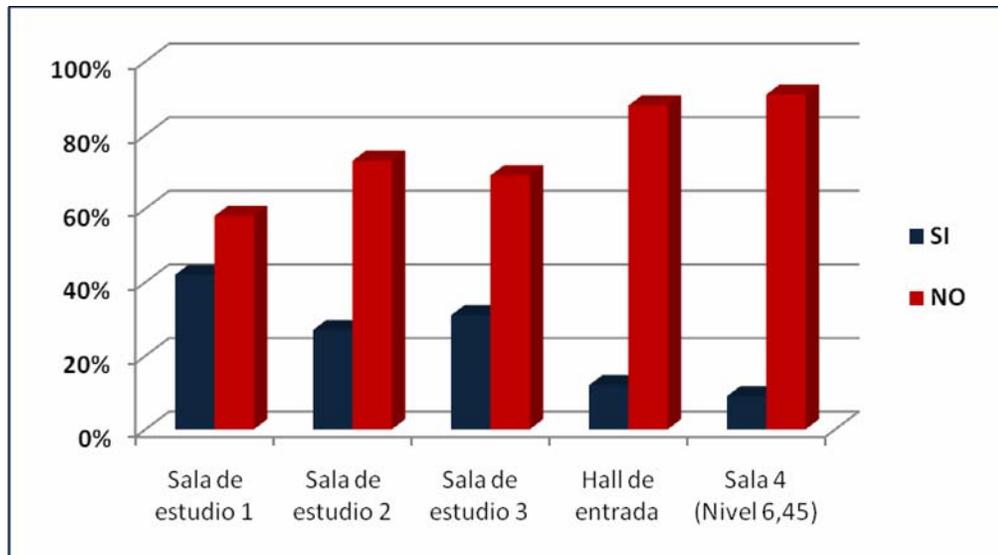


Figura 4.4. Respuesta a la pregunta 3 de la encuesta dirigida a los estudiantes de la biblioteca en estudio

Fuente: El Autor (2009)

En la figura anterior se observan las inquietudes de los usuarios en cuanto a la presencia de olores desagradables en las áreas mostradas en el eje “x”, obteniendo una vez más como resultado que el área más afectada es la sala de estudio 1, lo cual se obtiene como resultado de la mala configuración del sistema de aire acondicionado instalado en dicha área, el cual no cuenta con los requisitos básicos planteados por la norma COVENIN 2250: 2000, ya que la misma expresa que “todo sistema de ventilación artificial o mecánico de un local, se fundamentará en la inyección de aire fresco y no contaminado al interior del local de una edificación, permitiendo la salida de aire viciado al exterior, o bien, en la extracción del aire viciado del local, permitiendo la entrada al mismo, de una cantidad de aire fresco y no contaminado desde el exterior”, en el caso del aire renovado en la sala de estudio 1 esta condición no se cumple ya que la interacción con el exterior no existe porque el equipo de refrigeración se encuentra en un área interna aledaña que de igual forma también

presenta contaminación y baja calidad de aire (ver figura 3.9 capítulo III del presente trabajo). Aunque los olores dependen objetivamente de la presencia de compuestos en cantidades superiores a sus umbrales olfativos, a menudo se evalúan desde un punto de vista estrictamente subjetivo, también debe tenerse en cuenta que la percepción de un olor puede deberse a los olores de numerosos compuestos diferentes y que la temperatura y la humedad también pueden modificar sus características.

Pregunta 4. *¿Cómo encuentra el ambiente de esta biblioteca?*

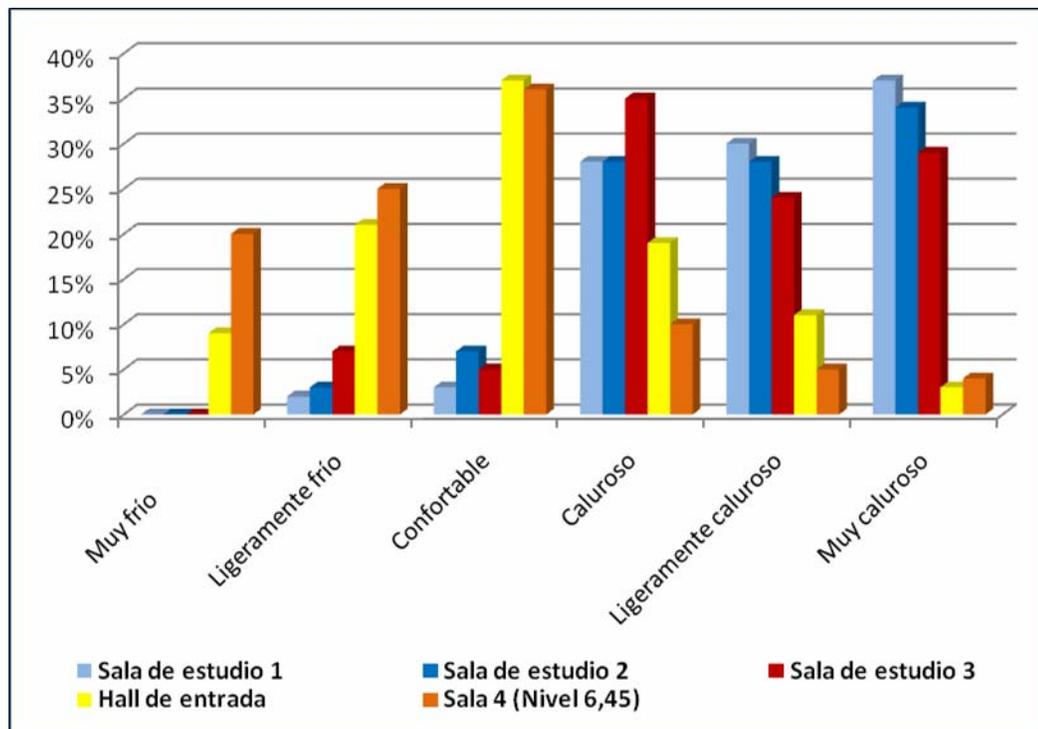


Figura 4.5. Respuesta a la pregunta 4 de la encuesta dirigida a los estudiantes de la biblioteca en estudio

Fuente: *El Autor (2009).*

De la figura 4.5 mostrada anteriormente se obtiene que la sala de estudio 4 correspondiente al nivel 6,45 de la biblioteca en estudio, cuanta con el mayor número de personas complacidas en cuanto a temperatura de ambiente interior se refiere,

representado por un 20% de los encuestados que respondieron que el ambiente es frío y un 36% de las mismas que piensan que el ambiente interior es confortable, la contraparte de esta condición, está representada por las salas de estudio 1 y 2 que cuentan con la mayor cantidad de personas a las cuales no les agrada las condiciones de confort internas de las áreas estudiadas, en la sala de estudio 1 el porcentaje de personas incomodadas por la temperatura presente en la misma es de 37% que dijo que en dicha área el ambiente es muy caluroso, lo cual sugiere que la calidad del aire de dicha zona está siendo notablemente afectada por las bajas temperaturas que a su vez causa discomfort o estrés térmico en el usuario que es contraproducente en el desempeño de las actividades realizadas por los mismos en dicha área.

Pregunta 5. *¿Cree que es posible mejorar las condiciones de confort de esta biblioteca?*

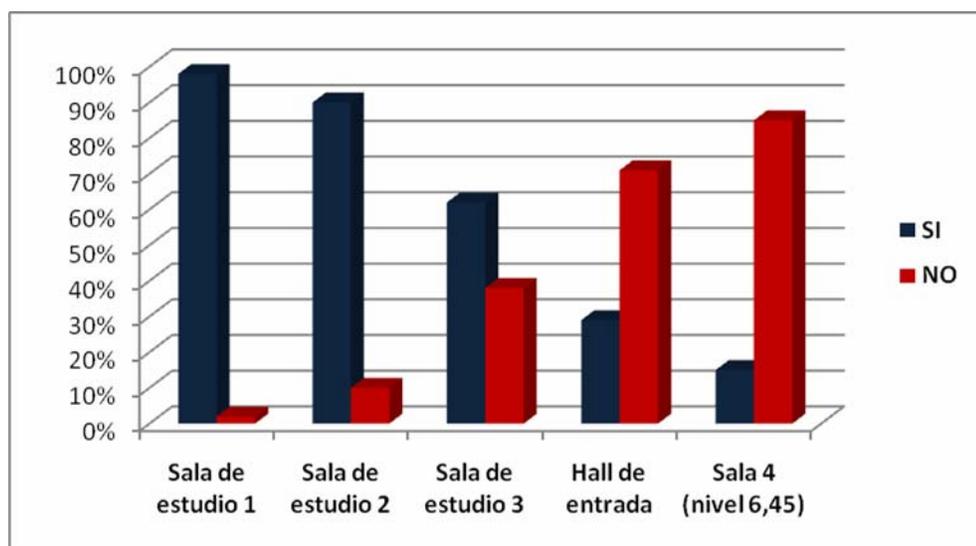


Figura 4.6. Respuesta a la pregunta 5 de la encuesta dirigida a los estudiantes de la biblioteca en estudio

Fuente: *El Autor (2009)*

En la figura 4.6 mostrada anteriormente, se observa que en cada área evaluada existen opiniones encontradas con la posibilidad de mejorar el confort en la biblioteca, esto es debido a que en áreas como el hall de entrada y la sala de estudio 4 correspondiente al nivel 6,45, existe alto grado de conformidad por parte del usuario con las condiciones de confort presentes en su área respectiva, por otra parte áreas como las salas de estudio 1, 2 y 3, cuentan con una gran cantidad de personas que esperan una mejora en cuanto a la ventilación mecánica presente en dichas áreas ya que las mismas están notablemente afectadas por las altas temperaturas y la presencia de contaminantes que enrarecen y vician el aire interno, dando como consecuencia enfermedades y disconfort en el usuario que visita la biblioteca estudiada.

Cuestionario realizado a los empleados:

Pregunta 1. *¿Qué área considera Ud. Mas crítica en cuanto a confort? (temperatura, humedad, etc.)*

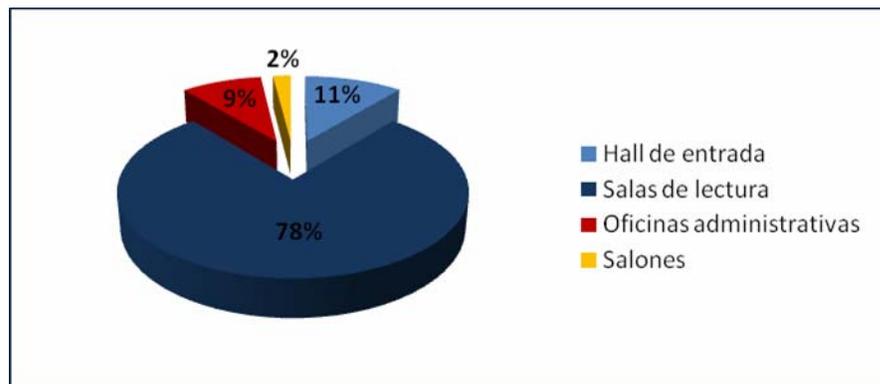


Figura 4.7. Respuesta a la pregunta 1 de la encuesta dirigida a los empleados que laboran en la biblioteca en estudio

Fuente: *El Autor (2009)*

En la figura 4.7 está contenida la información recabada de los empleados encuestados, los cuales consideran que las áreas mas afectadas por las malas

condiciones de confort son las áreas de acceso a los estudiantes, o lo que es lo mismo las salas de lectura o estudio representadas por un 78%, lo cual refuerza la presunción obtenida de las encuestas realizadas a los estudiantes que visitan el recinto, y de la cual se obtiene que el área de estudio más afectada es la sala uno.

Pregunta 2. *¿Presenta algún tipo de síntomas de enfermedad durante su jornada laboral en Biblioteca?*

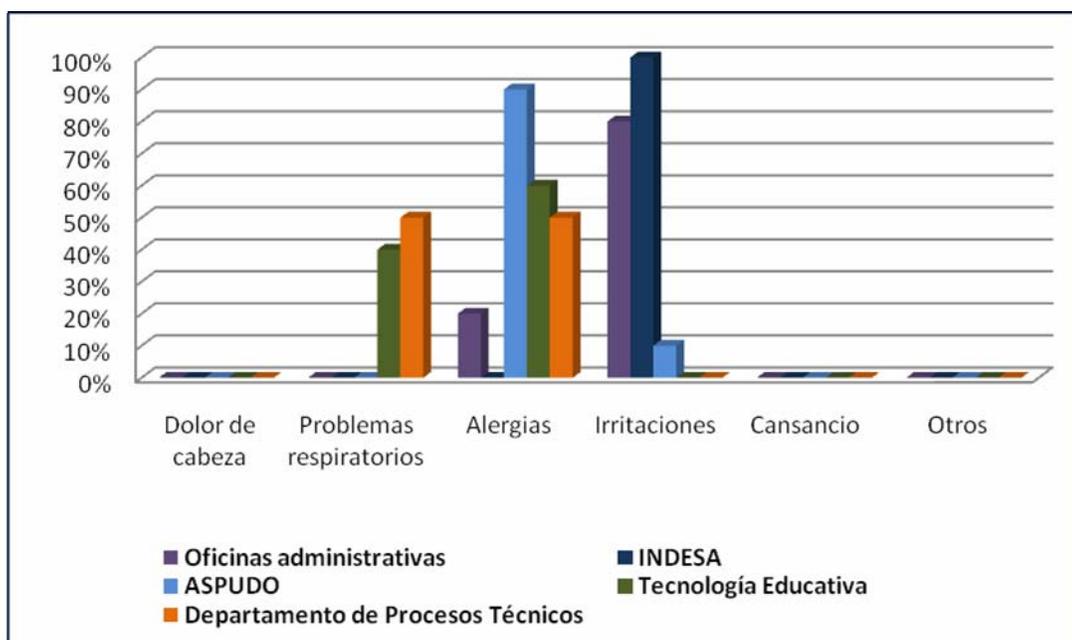


Figura 4.8. Respuesta a la pregunta 2 de la encuesta dirigida a los empleados que laboran en la biblioteca en estudio

Fuente: *El Autor (2009)*

En la figura anteriormente mostrada, se observa que una vez más las alergias e irritaciones son los síntomas mayormente presentados, esta vez en el personal que labora en la biblioteca, y cuya área específica más afectada es la zona correspondiente a ASPUDO, esta condición en los empleados sugiere la presencia de un microorganismo biológico, o la presencia de olores provenientes de los productos de limpieza de pisos y madera, pinturas y revestimientos.

Pregunta 3. *En caso de presentar síntomas, ¿cuánto tiempo después de su llegada al recinto los presenta?*

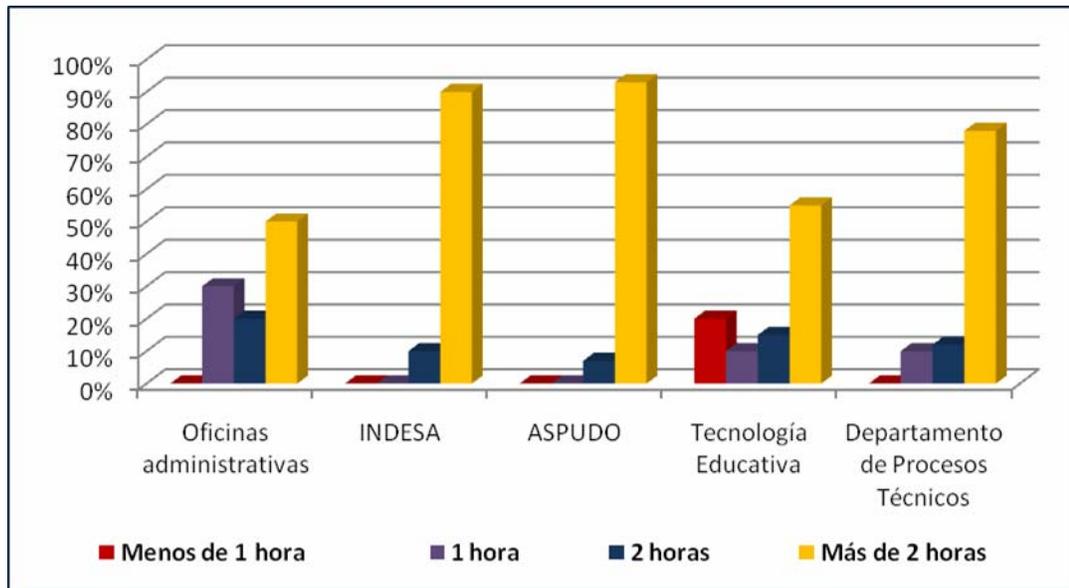


Figura 4.9. Respuesta a la pregunta 3 de la encuesta dirigida a los empleados que laboran en la biblioteca en estudio

Fuente: El Autor (2009)

En la figura 4.9, mostrada se observa que para presentar los síntomas evaluados es necesario permanecer más de dos horas de tiempo de exposición en el recinto contaminado, ya que la exposición prolongada acrecienta la probabilidad de aparición de los mismos en los empleados que laboran en el recinto, solo en pocos casos se observa la presencia de los síntomas en tiempos menores a una hora de exposición en la zona contaminada, eso es debido a que dichos síntomas son resultado de días de exposición en jornadas laborales que duran 8 horas diarias, este comportamiento, comprueba lo enunciado por las teorías consultadas que dicen que el efecto de los compuestos orgánicos volátiles pueden ser agudos y no acumulativos.

Pregunta 4. *¿Percibe Ud. Olores desagradables en su permanencia en la Biblioteca?*

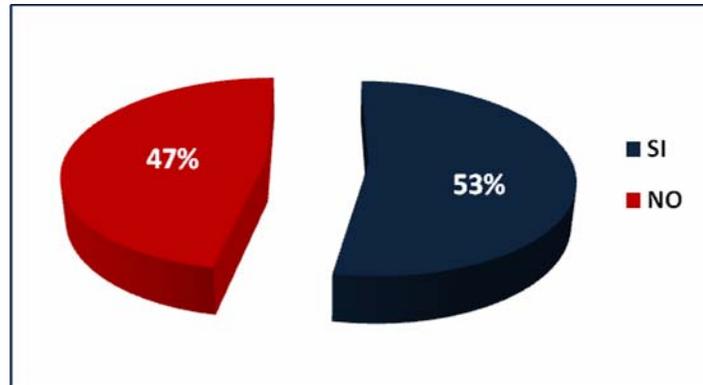


Figura 4.10. Respuesta a la pregunta 4 de la encuesta dirigida a los empleados que laboran en la biblioteca en estudio

Fuente: El Autor (2009)

En la figura 4.10 anteriormente mostrada, se puede observar que al igual que en el caso de los estudiantes, el personal (empleados) de la biblioteca percibe olores desagradables en los distintos ambientes que conforman la biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui, esto es un indicativo de baja calidad de aire, por motivos como: mala recirculación del mismo, la no existencia de renovación de aire fresco descontaminado proveniente del exterior, así como también baja velocidad, y caudal de aire de acondicionamiento en las distintas áreas de la biblioteca estudiada, y como se mencionó anteriormente, las causas principales de los malos olores son la presencia de muchos compuestos químicos que tienen olores y cualidades irritantes a concentraciones que no son peligrosas para los ocupantes de un edificio pero que pueden ser percibidos por un gran número de personas, para las que, por tanto, pueden resultar molestas.

Pregunta 5. *¿Qué tan frecuentes son las fallas de los equipos de aire acondicionado?*

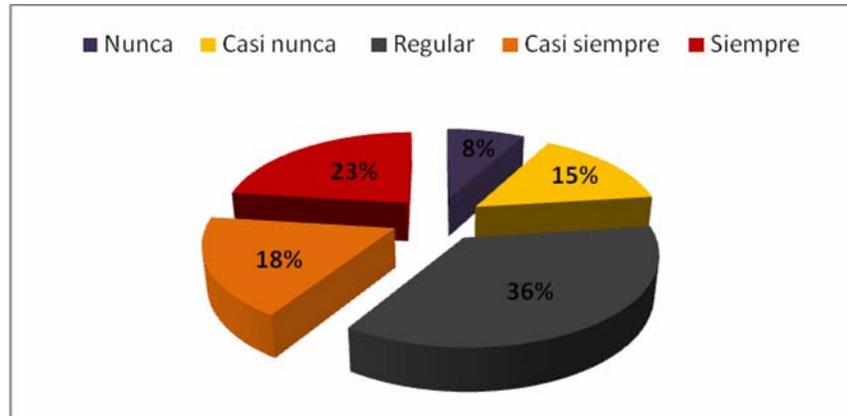


Figura 4.11. Respuesta a la pregunta 5 de la encuesta dirigida a los empleados que laboran en la biblioteca en estudio

Fuente: El Autor (2009)

En la figura 4.11 mostrada, se puede evaluar con qué frecuencia se presentan las fallas en los equipos de aire acondicionado, obteniéndose que un 36% de la población encuestada cree que las fallas se presentan de forma regular, por lo cual es necesario implementar estrategias de mantenimiento de tipo preventivo, debido a que dichas fallas incrementan de forma exponencial la mala calidad del aire interior de cualquier recinto, ya que como se ha mencionado anteriormente en el presente trabajo, la concentración de los COVs presentes en el interior, incrementan con las altas temperaturas, y sin existir acondicionamiento de aire, dicho aire contaminado no cuenta con la expulsión del recinto por parte del sistema de succión de aire, y no se cumplen los ciclos de renovación de aire establecidos por la norma COVENIN 2250 : 2000, así como también se genera disconfort en gran magnitud en los usuarios del recinto.

4.1.2. Identificación del gas a medir

Tabla 4.1. Selección de gas a medir tomando en cuenta los siguientes factores.

| Gases | Metano | Formaldehido | Benceno | Amoniaco | Hexano | Tolueno | Acetato de Vinilo | Estireno | Acetona |
|-------------------|--------|--------------|---------|----------|--------|---------|-------------------|----------|---------|
| PID | X | X | ✓ | X | X | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Teoría | ✓ | ✓ | X | ✓ | ✓ | X | ✓ | X | X |
| Norma | X | X | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Lámpara de 9,8 eV | X | X | ✓ | X | X | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Fuente: el autor (2009)

Donde:

✓ : Si existe o entra dentro de la clasificación correspondiente

X : No entra en la clasificación o no existe.

En la tabla 4.1 mostrada, se observan distintos gases COVs contaminantes de ambientes interiores, que corresponden a una serie de gases planteados por una cantidad significativa de bibliografías consultadas, constituidas por normas, manuales enciclopedias entre otras, se puede observar que existen cuatro factores considerados en dicha tabla, a los cuales el posible gas a medir debe satisfacer, teniendo como resultado que el único gas que satisface los factores de estudio es el Acetato de Vinilo, por lo cual se selecciona este como compuesto orgánico volátil de referencia a medir para el presente estudio, debido a que es imposible cuantificar todos y cada uno de los compuestos presentes, la cuantificación se suele realizar por familias, utilizando como referencia compuestos característicos de cada una de ellas, dicho gas es representativo de la variedad de compuestos orgánicos volátiles presentes en la

biblioteca objeto de estudio y cabe destacar, que dicho gas es uno de los más comunes en el interior de este tipo de recintos ya que sus principales fuentes de emisión son el papel, polímeros, adhesivos, embalajes, construcción, pinturas, textiles, revestimientos entre otros. Como se puede observar el único gas que satisface los cuatro (4) factores estudiados fue el Acetato de Vinilo, razón por la cual fue seleccionado como el gas estudio del presente trabajo, para conocer la concentración del mismo y tener bases firmes y específicas para plantear técnicas de disminución de su concentración, para así mejorar la calidad del aire en la biblioteca en estudio. A continuación se muestran las tablas 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10, en las cuales se muestran los resultados de las concentraciones del Acetato de Vinilo en toda la biblioteca y a las dos horas de estudio:

Tabla 4.2. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles -1.95 y $+0.15$ de la Biblioteca en estudio, correspondiente al primer día de medición.

| Ciclo 1 (Día 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| Niveles -1.95 y $+0.15$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Áreas de estudio | A ₁ | | | A ₂ | | | A ₃ | | | A ₄ | | | A ₅ | | | A ₆ | | | A ₇ | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 9am | 6.10 | 6.10 | 6.12 | 6.66 | 6.80 | 6.80 | 7.47 | 7.47 | 7.47 | 5.03 | 5.30 | 5.03 | 6.25 | 6.25 | 6.39 | 4.48 | 4.48 | 4.35 | 6.66 | 6.66 | 6.52 |
| 4pm | - | - | - | 7.48 | 7.48 | 7.48 | 7.48 | 7.48 | 7.48 | 6.39 | 6.52 | 6.52 | 6.80 | 6.93 | 6.93 | 6.66 | 6.66 | 6.66 | 6.25 | 6.25 | 6.39 |

Fuente: el autor (2009)

Tabla 4.3. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 2.25 y 4.35 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al primer día de medición.

| Ciclo 1 (Día 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| Niveles 2.25 y 4.35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Áreas de estudio | A ₁ | | | A ₂ | | | A ₃ | | | A ₄ | | | A ₅ | | | A ₆ | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 9am | 6.80 | 6.80 | 6.80 | 5.84 | 5.71 | 5.71 | 5.71 | 5.44 | 5.44 | 5.57 | 5.57 | 5.44 | 5.71 | 5.71 | 5.71 | 6.80 | 6.66 | 6.66 |
| 4pm | 9.65 | 9.65 | 9.65 | 5.98 | 5.98 | 5.83 | 6.93 | 7.07 | 7.07 | 7.61 | 7.61 | 7.34 | 6.39 | 6.52 | 6.39 | 6.80 | 6.80 | 6.93 |

Fuente: el autor (2009)

Tabla 4.4. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 6.45 y 7.40 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al primer día de medición.

| Ciclo 1 (Día 1) | | | |
|---------------------|----------------|------|------|
| Niveles 6.45 y 7.40 | | | |
| Áreas de estudio | A ₁ | | |
| Medida | 1 | 2 | 3 |
| 9am | 5.44 | 5.30 | 5.30 |
| 4pm | 6.12 | 6.12 | 5.98 |

Fuente: el autor (2009)

Tabla 4.5. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles -1.95 y +0.15 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al segundo día de medición.

| Ciclo 2 (Día 2) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| Niveles -1.95 y +0.15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Áreas de estudio | A ₁ | | | A ₂ | | | A ₃ | | | A ₄ | | | A ₅ | | | A ₆ | | | A ₇ | | |
| Medida | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 9am | 6.12 | 6.12 | 6.12 | 6.80 | 6.80 | 6.80 | 5.98 | 5.98 | 5.84 | 5.57 | 5.57 | 5.71 | 6.25 | 6.25 | 6.39 | 4.62 | 4.62 | 4.62 | 5.84 | 5.84 | 5.44 |
| 4pm | - | - | - | 7.48 | 7.48 | 7.61 | 7.48 | 7.48 | 7.48 | 6.52 | 6.39 | 6.39 | 6.80 | 6.80 | 6.93 | 6.66 | 6.80 | 6.80 | 6.25 | 6.25 | 6.39 |

Fuente: el autor (2009)

Tabla 4.6. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 2.25 y 4.35 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al segundo día de medición.

| Ciclo 2 (Día 2) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| Niveles 2.25 y 4.35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Áreas de estudio | A ₁ | | | A ₂ | | | A ₃ | | | A ₄ | | | A ₅ | | | A ₆ | | |
| Medida | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 9am | 9.65 | 9.65 | 9.79 | 5.84 | 5.84 | 6.12 | 5.71 | 5.84 | 5.84 | 5.57 | 5.57 | 5.57 | 5.71 | 5.98 | 5.98 | 6.80 | 6.80 | 6.93 |
| 4pm | 6.93 | 6.93 | 7.07 | 5.98 | 6.12 | 6.12 | 7.61 | 7.61 | 7.61 | 7.75 | 7.75 | 6.12 | 6.25 | 6.25 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 |

Fuente: el autor (2009)

Tabla 4.7. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 6.45 y 7.40 de la biblioteca en estudio, correspondiente al segundo día de medición.

| Ciclo 2 (Día 2) | | | |
|---------------------|----------------|------|------|
| Niveles 6.45 y 7.40 | | | |
| Áreas de estudio | A ₁ | | |
| Medida | 1 | 2 | 3 |
| 9am | 5.44 | 5.44 | 5.57 |
| 4pm | 6.66 | 6.66 | 6.93 |

Fuente: el autor (2009)

Tabla 4.8. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles -1.95 y +0.15 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al tercer día de medición.

| Ciclo 3 (Día 3) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| Niveles -1.95 y +0.15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Áreas de estudio | A ₁ | | | A ₂ | | | A ₃ | | | A ₄ | | | A ₅ | | | A ₆ | | | A ₇ | | |
| Medida | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 9am | 6.12 | 6.12 | 6.12 | 6.12 | 6.12 | 6.25 | 4.62 | 4.62 | 4.89 | 4.48 | 4.48 | 4.48 | 4.89 | 5.03 | 5.03 | 6.12 | 6.12 | 6.25 | 6.66 | 6.80 | 6.80 |
| 4pm | - | - | - | 6.93 | 7.07 | 7.07 | 5.98 | 6.12 | 5.98 | 6.39 | 6.39 | 6.39 | 6.66 | 6.66 | 6.80 | 7.20 | 7.20 | 7.48 | 6.66 | 6.80 | 6.80 |

Fuente: el autor (2009)

Tabla 4.9. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 2.25 y 4.35 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al tercer día de medición.

| Ciclo 3 (Día 3) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| Niveles 2.25 y 4.35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Áreas de estudio | A ₁ | | | A ₂ | | | A ₃ | | | A ₄ | | | A ₅ | | | A ₆ | | |
| Medida | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 9am | 5.98 | 5.98 | 6.25 | 5.71 | 5.84 | 5.84 | 4.62 | 4.89 | 4.89 | 5.30 | 5.44 | 5.44 | 5.16 | 5.30 | 5.30 | 5.44 | 5.44 | 5.44 |
| 4pm | 5.98 | 5.98 | 6.12 | 5.98 | 6.25 | 6.25 | 5.71 | 5.84 | 6.84 | 5.44 | 5.44 | 5.71 | 5.84 | 5.98 | 5.98 | 6.66 | 6.66 | 6.66 |

Fuente: el autor (2009)

Tabla 4.10. Diagnóstico de las concentraciones de Acetato de Vinilo muestreado en los niveles 6.45 y 7.40 de la Biblioteca en estudio, correspondiente al tercer día de medición.

| Ciclo 3 (Día 3) | | | |
|---------------------|----------------|------|------|
| Niveles 6.45 y 7.40 | | | |
| Áreas de estudio | A ₁ | | |
| Medida | 1 | 2 | 3 |
| 9am | 5.30 | 5.30 | 5.44 |
| 4pm | 5.71 | 5.98 | 5.98 |

Fuente: el autor (2009)

Notas:

- Los valores obtenidos experimentalmente mediante la medición mostrados en las tablas 4.2, 4.2, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10, fueron multiplicados por el factor de corrección correspondiente al gas en estudio, que en el caso del presente trabajo es el Acetato de Vinilo ($C_4H_6O_2$), que es igual a $F_c = 1,36$, dicho factor de corrección es propuesto por el fabricante del PID, *MSA Instruments*.
- Todas las concentraciones que se encuentran en las tablas están expresadas en ppm (partes por millón)
- Cada valor en las tablas mostradas con anterioridad corresponden al promedio de valores obtenidos en cada punto de muestreo correspondiente a cada área de estudio definidas en el capítulo III del presente trabajo.
- En las tablas 4.2, 4.5 y 4.8 se observa que para el área 1 (A₁), no existen valores de concentraciones para las 4pm, esto debido a que en la tarde no existió la posibilidad de acceder a dicha área.

Tabla 4.11. Índice de la concentración del Acetato de Vinilo para cada área de estudio perteneciente a los niveles -1.95 y $+0.15$.

| Niveles -1.95 y $+0.15$ | | | | | | | |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Áreas de estudio | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₆ | A ₇ |
| 9am | 6.11 | 6.57 | 6.04 | 5.07 | 5.85 | 5.07 | 6.36 |
| 4pm | - | 7.34 | 6.70 | 6.43 | 6.81 | 6.90 | 6.45 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.12. Índice de la concentración del Acetato de Vinilo para cada área de estudio perteneciente a los niveles 2.25 y 4.35 .

| Niveles 2.25 y 4.35 | | | | | | |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Áreas de estudio | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₆ |
| 9am | 7.52 | 5.83 | 5.38 | 5.50 | 5.62 | 6.33 |
| 4pm | 7.55 | 6.05 | 6.92 | 6.92 | 6.19 | 6.90 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.13. Índice de la concentración del Acetato de Vinilo para cada área de estudio perteneciente a los niveles 6.45 y 7.40 .

| Niveles 6.45 y 7.40 | |
|-------------------------|----------------|
| Área de estudio | A ₁ |
| 9am | 5.39 |
| 4pm | 6.24 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.14. Índice de concentraciones para cada área de estudio

| Niveles | -1.95 y $+0.15$ | | | | | | | 2.25 y 4.35 | | | | | | 6.45 y 7.40 |
|---|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₆ | A ₇ | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₆ | A ₁ |
| Concentración de Acetato de Vinilo en (ppm) | 6.11 | 6.96 | 6.37 | 5.75 | 6.33 | 5.99 | 6.41 | 7.54 | 5.94 | 6.15 | 6.21 | 5.91 | 6.62 | 5.82 |

Fuente: El Autor (2009).

En la tabla 4.14 mostrada anteriormente, se observan los promedios de las concentraciones en partes por millón de los tres (3) días de diagnóstico del acetato de vinilo, la cual arroja como resultado que el área mayormente afectada por la presencia del mismo es el área A₁, perteneciente al nivel (2.25 y 4.35) y correspondiente a la sala de lectura 1, la cual cuenta con una concentración de 7,54 ppm de Acetato de Vinilo (C₄H₆O₂), y aunque dicha concentración se encuentra un poco por debajo del límite permisible expresado por la norma COVENIN 2253-2001, la cual establece que la CAP (concentración ambiental permisible) del C₄H₆O₂ es de 10 ppm. No se debe dejar a un lado al momento de evaluar y mejorar la calidad de aire del recinto estudiado ya que el hecho de que esté por debajo del límite permisible no quiere decir que no tenga efectos sobre la calidad del aire y la salud de gran cantidad de las personas que se encuentran en el interior de la biblioteca estudiada.

4.2. Medición de los parámetros de confort y concentración del covs contaminante tomando en cuenta la norma COVENIN 3513: 1999.

A continuación se presenta una serie de tablas obtenidas a partir de los ciclos de medición explicados con detalle en el capítulo III del presente trabajo y correspondientes a las variables estudiadas (Temperatura, Humedad del aire, Velocidad del aire, Caudal de aire, Concentración de C₄H₆O₂ y número de personas), en la zona crítica (sala de estudio 1), obtenida mediante el diagnóstico de las concentraciones del Acetato de Vinilo en toda el área de la biblioteca, cabe destacar que cada variable cuenta con su valor de incertidumbre respectivo, y dichas magnitudes se muestran a continuación:

Tabla 4.15. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 1 (punto de muestreo longitudinal 1) hora: 9:00am:

| Día | Pto de muestreo (transversal) | Temperatura (°c) | Velocidad (Km/h) | Caudal (m ³ /h) |
|----------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | 28,600 ± 0,03 | 43,570 ± 0,09 | 3040,100 ± 0,76 |
| | 2 | 28,800 ± 0,00 | 39,890 ± 0,02 | 2370,200 ± 0,27 |
| | 3 | 28,620 ± 0,04 | 45,870 ± 0,06 | 2519,600 ± 0,53 |
| | 4 | 28,660 ± 0,06 | 36,800 ± 0,00 | 2740,200 ± 0,27 |
| | 5 | 28,600 ± 0,00 | 21,190 ± 0,09 | 2460,000 ± 0,00 |
| | 6 | 28,760 ± 0,05 | 42,200 ± 0,00 | 3260,000 ± 0,00 |
| | 7 | 28,680 ± 0,06 | 42,700 ± 0,00 | 2980,400 ± 1,12 |
| | 8 | 28,170 ± 0,82 | 39,060 ± 0,03 | 3280,000 ± 0,00 |
| | Promedio | 28,611 ± 0,13 | 38,910 ± 0,04 | 2831,313 ± 0,37 |
| 2 | 1 | 28,600 ± 0,00 | 41,110 ± 0,02 | 2730,300 ± 0,60 |
| | 2 | 28,520 ± 0,21 | 50,070 ± 0,06 | 3610,800 ± 0,98 |
| | 3 | 28,520 ± 0,21 | 40,200 ± 0,00 | 3720,900 ± 1,80 |
| | 4 | 28,580 ± 0,03 | 42,200 ± 0,00 | 3830,200 ± 0,27 |
| | 5 | 28,600 ± 0,00 | 51,240 ± 0,03 | 3130,000 ± 0,00 |
| | 6 | 28,650 ± 0,05 | 47,900 ± 0,00 | 3469,400 ± 0,80 |
| | 7 | 28,700 ± 0,00 | 49,400 ± 0,00 | 2670,000 ± 0,00 |
| | 8 | 28,570 ± 0,13 | 42,200 ± 0,00 | 3320,000 ± 0,00 |
| | Promedio | 28,593 ± 0,08 | 45,540 ± 0,01 | 3310,200 ± 0,56 |
| 3 | 1 | 28,850 ± 0,07 | 44,710 ± 0,02 | 2920,700 ± 0,95 |
| | 2 | 28,750 ± 0,06 | 52,640 ± 0,08 | 3560,300 ± 0,31 |
| | 3 | 28,500 ± 0,00 | 50,400 ± 0,00 | 3819,400 ± 0,80 |
| | 4 | 28,460 ± 0,16 | 55,360 ± 0,09 | 3700,400 ± 0,53 |
| | 5 | 28,750 ± 0,06 | 36,800 ± 0,00 | 2690,000 ± 0,67 |
| | 6 | 28,700 ± 0,00 | 46,000 ± 0,20 | 3440,900 ± 0,96 |
| | 7 | 28,560 ± 0,08 | 48,790 ± 0,02 | 3030,500 ± 0,33 |
| | 8 | 28,720 ± 0,07 | 39,140 ± 0,08 | 2800,900 ± 0,92 |
| | Promedio | 28,661 ± 0,06 | 46,730 ± 0,06 | 3245,388 ± 0,68 |
| 4 | 1 | 28,420 ± 0,62 | 41,080 ± 0,03 | 2731,200 ± 0,98 |
| | 2 | 28,560 ± 0,18 | 50,130 ± 0,03 | 3610,300 ± 0,85 |
| | 3 | 28,600 ± 0,00 | 40,200 ± 0,00 | 3720,700 ± 0,73 |
| | 4 | 28,600 ± 0,00 | 42,200 ± 0,00 | 3830,600 ± 0,61 |
| | 5 | 28,680 ± 0,11 | 51,270 ± 0,06 | 3131,300 ± 1,33 |
| | 6 | 28,750 ± 0,06 | 47,920 ± 0,03 | 3470,500 ± 0,54 |
| | 7 | 28,700 ± 0,00 | 49,400 ± 0,00 | 2670,400 ± 0,44 |
| | 8 | 28,600 ± 0,07 | 42,190 ± 0,02 | 3320,200 ± 0,40 |
| | Promedio | 28,614 ± 0,13 | 45,549 ± 0,02 | 3310,650 ± 0,74 |
| 5 | 1 | 28,520 ± 0,16 | 45,030 ± 0,03 | 2698,800 ± 0,65 |
| | 2 | 28,600 ± 0,00 | 52,160 ± 0,06 | 3610,300 ± 0,31 |
| | 3 | 28,660 ± 0,12 | 52,400 ± 0,00 | 3721,200 ± 1,45 |
| | 4 | 28,640 ± 0,05 | 44,420 ± 0,03 | 3828,400 ± 0,53 |
| | 5 | 28,600 ± 0,00 | 51,160 ± 0,08 | 3140,600 ± 0,53 |
| | 6 | 28,490 ± 0,37 | 47,900 ± 0,00 | 3470,900 ± 0,92 |
| | 7 | 28,560 ± 0,08 | 49,500 ± 0,00 | 2673,700 ± 0,31 |
| | 8 | 28,800 ± 0,00 | 42,180 ± 0,03 | 3391,800 ± 1,83 |
| | Promedio | 28,609 ± 0,10 | 48,094 ± 0,03 | 3316,963 ± 0,82 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.16. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 1 (punto de muestreo longitudinal 1) hora: 4:00pm:

| Día | Pto de muestreo (transversal) | Temperatura (°c) | Velocidad (Km/h) | Caudal (m ³ /h) |
|----------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | 28,630 ± 0,03 | 50,040 ± 0,03 | 3030,200 ± 0,40 |
| | 2 | 28,500 ± 0,00 | 58,050 ± 0,05 | 3560,700 ± 0,73 |
| | 3 | 28,700 ± 0,00 | 50,270 ± 0,03 | 3901,300 ± 1,12 |
| | 4 | 28,700 ± 0,00 | 55,000 ± 0,00 | 3700,100 ± 0,20 |
| | 5 | 28,500 ± 0,00 | 36,700 ± 0,00 | 3550,500 ± 0,68 |
| | 6 | 28,600 ± 0,00 | 45,800 ± 0,00 | 3500,500 ± 0,54 |
| | 7 | 28,580 ± 0,07 | 49,930 ± 0,04 | 3030,300 ± 0,31 |
| | 8 | 28,700 ± 0,00 | 38,320 ± 0,03 | 2900,400 ± 0,44 |
| | Promedio | 28,614 ± 0,01 | 48,014 ± 0,02 | 3396,750 ± 0,55 |
| 2 | 1 | 28,650 ± 0,03 | 53,380 ± 0,07 | 3029,600 ± 0,44 |
| | 2 | 28,600 ± 0,00 | 58,060 ± 0,05 | 3580,900 ± 0,81 |
| | 3 | 28,600 ± 0,00 | 50,860 ± 0,08 | 3900,200 ± 0,27 |
| | 4 | 28,700 ± 0,00 | 55,500 ± 0,00 | 3703,500 ± 0,54 |
| | 5 | 28,700 ± 0,00 | 38,500 ± 0,00 | 3548,800 ± 0,65 |
| | 6 | 28,700 ± 0,00 | 45,900 ± 0,00 | 3500,500 ± 0,80 |
| | 7 | 28,700 ± 0,00 | 49,900 ± 0,00 | 3034,800 ± 0,65 |
| | 8 | 28,700 ± 0,00 | 38,420 ± 0,03 | 2901,000 ± 1,03 |
| | Promedio | 28,669 ± 0,00 | 48,815 ± 0,03 | 399,913 ± 0,65 |
| 3 | 1 | 28,700 ± 0,00 | 52,270 ± 0,03 | 3030,300 ± 0,31 |
| | 2 | 28,700 ± 0,00 | 57,930 ± 0,03 | 3582,500 ± 0,68 |
| | 3 | 28,730 ± 0,03 | 50,500 ± 0,00 | 3903,400 ± 0,80 |
| | 4 | 28,700 ± 0,00 | 55,530 ± 0,03 | 3704,600 ± 0,80 |
| | 5 | 28,700 ± 0,00 | 38,500 ± 0,00 | 3548,700 ± 0,43 |
| | 6 | 28,700 ± 0,00 | 45,900 ± 0,00 | 3499,200 ± 0,65 |
| | 7 | 28,790 ± 0,02 | 49,720 ± 0,04 | 3036,300 ± 0,31 |
| | 8 | 28,700 ± 0,00 | 38,500 ± 0,00 | 2906,000 ± 0,67 |
| | Promedio | 28,715 ± 0,01 | 48,606 ± 0,02 | 3401,375 ± 0,58 |
| 4 | 1 | 28,670 ± 0,03 | 50,230 ± 0,03 | 3030,100 ± 0,20 |
| | 2 | 28,620 ± 0,03 | 58,030 ± 0,03 | 3580,700 ± 0,31 |
| | 3 | 28,600 ± 0,00 | 50,300 ± 0,00 | 3900,900 ± 0,92 |
| | 4 | 28,700 ± 0,00 | 55,100 ± 0,00 | 3703,900 ± 0,87 |
| | 5 | 28,700 ± 0,00 | 36,730 ± 0,03 | 3550,200 ± 0,27 |
| | 6 | 28,700 ± 0,00 | 45,810 ± 0,02 | 3501,200 ± 1,60 |
| | 7 | 28,710 ± 0,02 | 50,020 ± 0,03 | 3033,700 ± 0,31 |
| | 8 | 28,690 ± 0,04 | 38,300 ± 0,00 | 2900,600 ± 0,80 |
| | Promedio | 28,674 ± 0,01 | 48,065 ± 0,02 | 3400,163 ± 0,66 |
| 5 | 1 | 28,730 ± 0,03 | 52,260 ± 0,03 | 3030,800 ± 0,27 |
| | 2 | 28,700 ± 0,00 | 57,860 ± 0,03 | 3582,300 ± 0,60 |
| | 3 | 28,800 ± 0,00 | 50,640 ± 0,03 | 3904,000 ± 1,03 |
| | 4 | 28,710 ± 0,02 | 55,500 ± 0,00 | 3705,700 ± 0,60 |
| | 5 | 28,700 ± 0,00 | 38,540 ± 0,08 | 3549,700 ± 0,31 |
| | 6 | 28,670 ± 0,03 | 45,920 ± 0,03 | 3499,600 ± 0,53 |
| | 7 | 28,800 ± 0,00 | 49,900 ± 0,00 | 3036,400 ± 0,33 |
| | 8 | 28,710 ± 0,02 | 38,730 ± 0,04 | 2906,100 ± 0,20 |
| | Promedio | 28,728 ± 0,01 | 48,669 ± 0,03 | 3401,825 ± 0,48 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.17. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 2 (punto de muestreo longitudinal 2) hora: 9:00 am:

| Día | Pto de muestreo (transversal) | Temperatura (°c) | Velocidad (Km/h) | Caudal (m ³ /h) |
|----------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | 28,290 ± 0,07 | 35,580 ± 0,03 | 3045,700 ± 2,02 |
| | 2 | 28,300 ± 0,00 | 42,400 ± 0,00 | 3129,200 ± 0,65 |
| | 3 | 28,330 ± 0,03 | 42,430 ± 0,03 | 2929,000 ± 1,07 |
| | 4 | 28,230 ± 0,03 | 41,460 ± 0,03 | 3009,700 ± 0,31 |
| | 5 | 28,400 ± 0,00 | 39,140 ± 0,03 | 2489,400 ± 0,61 |
| | 6 | 28,440 ± 0,03 | 42,000 ± 0,00 | 2921,000 ± 1,03 |
| | 7 | 28,170 ± 0,03 | 38,830 ± 0,03 | 3088,900 ± 0,76 |
| | 8 | 28,370 ± 0,10 | 40,600 ± 0,00 | 3159,800 ± 0,40 |
| | Promedio | 28,316 ± 0,04 | 40,305 ± 0,02 | 2971,588 ± 0,86 |
| 2 | 1 | 28,260 ± 0,03 | 34,040 ± 0,05 | 2749,200 ± 1,11 |
| | 2 | 28,230 ± 0,06 | 40,480 ± 0,12 | 2930,800 ± 0,83 |
| | 3 | 28,360 ± 0,04 | 40,170 ± 0,03 | 2880,500 ± 0,45 |
| | 4 | 28,300 ± 0,00 | 42,780 ± 0,03 | 2639,800 ± 0,72 |
| | 5 | 28,370 ± 0,03 | 39,720 ± 0,03 | 2229,600 ± 0,53 |
| | 6 | 28,390 ± 0,05 | 36,170 ± 0,04 | 2689,200 ± 0,83 |
| | 7 | 28,760 ± 0,04 | 41,140 ± 0,05 | 3000,500 ± 0,45 |
| | 8 | 28,270 ± 0,03 | 42,360 ± 0,08 | 2949,500 ± 1,00 |
| | Promedio | 28,368 ± 0,04 | 39,608 ± 0,05 | 2758,638 ± 0,74 |
| 3 | 1 | 28,240 ± 0,06 | 35,630 ± 0,03 | 2787,600 ± 1,96 |
| | 2 | 28,240 ± 0,06 | 44,050 ± 0,05 | 2909,300 ± 0,95 |
| | 3 | 28,330 ± 0,04 | 46,640 ± 0,05 | 2970,600 ± 0,85 |
| | 4 | 28,280 ± 0,04 | 40,920 ± 0,04 | 2780,900 ± 1,05 |
| | 5 | 28,400 ± 0,05 | 34,530 ± 0,07 | 2570,500 ± 0,54 |
| | 6 | 28,390 ± 0,07 | 41,920 ± 0,03 | 2330,200 ± 0,40 |
| | 7 | 28,530 ± 0,19 | 45,520 ± 0,04 | 2728,400 ± 1,31 |
| | 8 | 28,260 ± 0,03 | 43,270 ± 0,06 | 2929,100 ± 0,63 |
| | Promedio | 28,334 ± 0,07 | 41,560 ± 0,05 | 2750,825 ± 0,96 |
| 4 | 1 | 28,040 ± 0,03 | 35,500 ± 0,05 | 2747,700 ± 0,31 |
| | 2 | 28,300 ± 0,00 | 42,340 ± 0,06 | 2927,600 ± 0,53 |
| | 3 | 28,200 ± 0,00 | 42,500 ± 0,00 | 2878,200 ± 0,65 |
| | 4 | 28,210 ± 0,02 | 41,190 ± 0,09 | 2640,000 ± 0,00 |
| | 5 | 28,400 ± 0,03 | 36,180 ± 0,04 | 2229,800 ± 0,65 |
| | 6 | 28,370 ± 0,04 | 42,120 ± 0,03 | 2685,500 ± 0,33 |
| | 7 | 28,100 ± 0,00 | 38,670 ± 0,03 | 2997,000 ± 0,52 |
| | 8 | 28,600 ± 0,07 | 40,580 ± 0,04 | 2945,300 ± 0,60 |
| | Promedio | 28,278 ± 0,02 | 39,885 ± 0,04 | 2756,388 ± 0,45 |
| 5 | 1 | 28,250 ± 0,03 | 35,600 ± 0,00 | 2782,200 ± 0,65 |
| | 2 | 28,100 ± 0,00 | 44,000 ± 0,00 | 2907,000 ± 1,33 |
| | 3 | 28,300 ± 0,00 | 46,620 ± 0,04 | 2971,400 ± 0,53 |
| | 4 | 28,500 ± 0,12 | 40,860 ± 0,05 | 2777,400 ± 0,80 |
| | 5 | 28,300 ± 0,00 | 34,480 ± 0,03 | 2564,400 ± 0,53 |
| | 6 | 28,610 ± 0,05 | 41,480 ± 0,11 | 2327,300 ± 0,31 |
| | 7 | 28,790 ± 0,05 | 39,590 ± 0,09 | 2721,200 ± 0,65 |
| | 8 | 28,320 ± 0,04 | 42,030 ± 0,06 | 2925,200 ± 0,40 |
| | Promedio | 28,396 ± 0,04 | 40,583 ± 0,05 | 2747,013 ± 0,65 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.18. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 2 (punto de muestreo longitudinal 2) hora: 4:00 pm:

| Día | Pto de muestreo (transversal) | Temperatura (°c) | Velocidad (Km/h) | Caudal (m ³ /h) |
|----------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | 28,680 ± 0,07 | 39,640 ± 0,06 | 2959,000 ± 1,03 |
| | 2 | 28,680 ± 0,07 | 45,050 ± 0,04 | 2959,700 ± 0,43 |
| | 3 | 28,600 ± 0,00 | 48,600 ± 0,07 | 2984,700 ± 0,60 |
| | 4 | 28,620 ± 0,04 | 40,710 ± 0,06 | 2985,600 ± 0,33 |
| | 5 | 28,420 ± 0,04 | 45,520 ± 0,11 | 2226,400 ± 0,53 |
| | 6 | 28,600 ± 0,00 | 42,680 ± 0,04 | 2329,500 ± 0,68 |
| | 7 | 28,600 ± 0,00 | 45,520 ± 0,07 | 2729,600 ± 0,53 |
| | 8 | 28,430 ± 0,03 | 43,280 ± 0,04 | 2119,300 ± 0,60 |
| | Promedio | 28,579 ± 0,03 | 43,875 ± 0,06 | 2661,725 ± 0,59 |
| 2 | 1 | 28,770 ± 0,03 | 39,460 ± 0,03 | 2956,800 ± 0,27 |
| | 2 | 28,730 ± 0,03 | 45,090 ± 0,02 | 2954,700 ± 0,31 |
| | 3 | 28,720 ± 0,03 | 48,520 ± 0,03 | 2983,500 ± 0,33 |
| | 4 | 28,730 ± 0,03 | 40,750 ± 0,03 | 2984,300 ± 0,95 |
| | 5 | 28,700 ± 0,03 | 45,540 ± 0,06 | 2224,400 ± 0,80 |
| | 6 | 28,720 ± 0,03 | 42,650 ± 0,05 | 2328,100 ± 0,92 |
| | 7 | 28,730 ± 0,04 | 45,360 ± 0,03 | 2730,700 ± 0,31 |
| | 8 | 28,680 ± 0,03 | 43,280 ± 0,03 | 2118,500 ± 0,68 |
| | Promedio | 28,723 ± 0,03 | 43,831 ± 0,04 | 2660,125 ± 0,57 |
| 3 | 1 | 28,320 ± 0,04 | 39,460 ± 0,05 | 2956,900 ± 0,63 |
| | 2 | 28,360 ± 0,06 | 39,760 ± 0,04 | 2952,200 ± 3,71 |
| | 3 | 28,210 ± 0,02 | 48,380 ± 0,08 | 2983,000 ± 0,00 |
| | 4 | 28,200 ± 0,00 | 40,680 ± 0,04 | 2984,400 ± 0,61 |
| | 5 | 28,320 ± 0,04 | 45,050 ± 0,03 | 2216,700 ± 1,40 |
| | 6 | 28,300 ± 0,00 | 42,510 ± 0,09 | 2328,100 ± 1,28 |
| | 7 | 28,360 ± 0,06 | 45,340 ± 0,06 | 2731,400 ± 0,44 |
| | 8 | 28,320 ± 0,03 | 40,820 ± 0,07 | 2118,900 ± 1,05 |
| | Promedio | 28,299 ± 0,03 | 42,750 ± 0,06 | 2658,950 ± 1,14 |
| 4 | 1 | 28,770 ± 0,03 | 39,460 ± 0,07 | 2958,600 ± 0,61 |
| | 2 | 28,740 ± 0,03 | 45,010 ± 0,08 | 2953,500 ± 0,68 |
| | 3 | 28,660 ± 0,03 | 48,540 ± 0,06 | 2983,000 ± 0,89 |
| | 4 | 28,680 ± 0,03 | 40,610 ± 0,09 | 2985,100 ± 0,20 |
| | 5 | 28,480 ± 0,03 | 45,460 ± 0,15 | 2219,200 ± 0,27 |
| | 6 | 28,660 ± 0,03 | 42,680 ± 0,04 | 2323,900 ± 0,92 |
| | 7 | 28,690 ± 0,02 | 45,380 ± 0,04 | 2731,600 ± 0,61 |
| | 8 | 28,540 ± 0,06 | 43,290 ± 0,11 | 2112,400 ± 1,53 |
| | Promedio | 28,653 ± 0,03 | 43,804 ± 0,08 | 2658,413 ± 0,71 |
| 5 | 1 | 28,790 ± 0,02 | 39,230 ± 0,14 | 2956,900 ± 0,92 |
| | 2 | 28,740 ± 0,03 | 39,640 ± 0,05 | 2953,900 ± 0,20 |
| | 3 | 28,670 ± 0,04 | 48,240 ± 0,10 | 2982,600 ± 0,33 |
| | 4 | 28,650 ± 0,03 | 40,710 ± 0,02 | 2985,700 ± 0,73 |
| | 5 | 28,570 ± 0,10 | 45,070 ± 0,09 | 2214,000 ± 0,99 |
| | 6 | 28,660 ± 0,03 | 42,320 ± 0,03 | 2329,100 ± 0,92 |
| | 7 | 28,660 ± 0,03 | 45,360 ± 0,10 | 2732,700 ± 0,60 |
| | 8 | 28,590 ± 0,11 | 41,020 ± 0,07 | 2118,600 ± 0,74 |
| | Promedio | 28,666 ± 0,05 | 42,699 ± 0,07 | 2659,188 ± 0,68 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.19. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 3 (punto de muestreo longitudinal 3) hora: 9:00 am:

| Día | Pto de muestreo (transversal) | Temperatura (°c) | Velocidad (Km/h) | Caudal (m ³ /h) |
|----------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | 28,230 ± 0,04 | 34,140 ± 0,06 | 2409,000 ± 0,67 |
| | 2 | 28,410 ± 0,02 | 39,170 ± 0,03 | 2449,300 ± 0,60 |
| | 3 | 28,230 ± 0,03 | 43,520 ± 0,11 | 2809,300 ± 0,60 |
| | 4 | 28,220 ± 0,03 | 38,070 ± 0,03 | 2649,500 ± 1,72 |
| | 5 | 28,210 ± 0,02 | 35,480 ± 0,03 | 2730,000 ± 0,00 |
| | 6 | 28,200 ± 0,00 | 36,840 ± 0,06 | 2647,300 ± 2,31 |
| | 7 | 28,300 ± 0,00 | 38,660 ± 0,03 | 2600,200 ± 0,93 |
| | 8 | 28,200 ± 0,00 | 37,690 ± 0,11 | 2503,100 ± 2,59 |
| | Promedio | 28,250 ± 0,02 | 37,946 ± 0,06 | 2599,713 ± 1,18 |
| 2 | 1 | 28,230 ± 0,04 | 32,330 ± 0,06 | 2190,000 ± 0,00 |
| | 2 | 28,410 ± 0,02 | 37,060 ± 0,03 | 2880,200 ± 1,81 |
| | 3 | 28,200 ± 0,00 | 39,400 ± 0,00 | 2469,900 ± 0,47 |
| | 4 | 28,270 ± 0,03 | 31,660 ± 0,10 | 2700,600 ± 1,20 |
| | 5 | 28,210 ± 0,02 | 37,680 ± 0,04 | 2779,000 ± 1,33 |
| | 6 | 28,200 ± 0,00 | 42,300 ± 0,00 | 2910,000 ± 0,00 |
| | 7 | 28,300 ± 0,00 | 42,910 ± 0,02 | 2770,000 ± 0,00 |
| | 8 | 28,200 ± 0,00 | 35,270 ± 0,03 | 2640,600 ± 0,80 |
| | Promedio | 28,253 ± 0,01 | 37,326 ± 0,04 | 2667,538 ± 0,70 |
| 3 | 1 | 28,200 ± 0,00 | 35,320 ± 0,03 | 2246,700 ± 2,94 |
| | 2 | 28,500 ± 0,00 | 42,640 ± 0,16 | 2791,400 ± 1,87 |
| | 3 | 28,210 ± 0,02 | 38,040 ± 0,06 | 2959,400 ± 0,85 |
| | 4 | 28,200 ± 0,00 | 37,100 ± 0,00 | 2660,800 ± 0,65 |
| | 5 | 28,200 ± 0,00 | 41,710 ± 0,09 | 2720,600 ± 0,68 |
| | 6 | 28,210 ± 0,02 | 42,200 ± 0,00 | 2810,000 ± 0,00 |
| | 7 | 28,280 ± 0,03 | 38,600 ± 0,00 | 2702,300 ± 3,10 |
| | 8 | 28,240 ± 0,03 | 39,210 ± 0,09 | 2640,900 ± 0,92 |
| | Promedio | 28,255 ± 0,01 | 39,353 ± 0,05 | 2691,513 ± 1,38 |
| 4 | 1 | 28,270 ± 0,04 | 34,230 ± 0,04 | 2405,200 ± 2,32 |
| | 2 | 28,380 ± 0,03 | 39,130 ± 0,03 | 2449,800 ± 0,40 |
| | 3 | 28,290 ± 0,04 | 43,570 ± 0,03 | 2809,200 ± 0,27 |
| | 4 | 28,240 ± 0,03 | 38,020 ± 0,04 | 2647,300 ± 0,43 |
| | 5 | 28,230 ± 0,03 | 35,400 ± 0,05 | 2730,800 ± 0,58 |
| | 6 | 28,270 ± 0,03 | 36,870 ± 0,03 | 2642,400 ± 0,44 |
| | 7 | 28,220 ± 0,03 | 38,740 ± 0,03 | 2597,900 ± 0,20 |
| | 8 | 28,260 ± 0,03 | 37,590 ± 0,04 | 2507,300 ± 0,31 |
| | Promedio | 28,270 ± 0,03 | 37,944 ± 0,04 | 2598,738 ± 0,62 |
| 5 | 1 | 28,260 ± 0,04 | 32,380 ± 0,03 | 2250,000 ± 0,00 |
| | 2 | 28,300 ± 0,06 | 37,060 ± 0,03 | 2790,000 ± 0,00 |
| | 3 | 28,210 ± 0,02 | 39,400 ± 0,00 | 2961,500 ± 1,53 |
| | 4 | 28,280 ± 0,03 | 31,710 ± 0,02 | 2660,600 ± 0,61 |
| | 5 | 28,220 ± 0,03 | 37,730 ± 0,04 | 2720,000 ± 0,00 |
| | 6 | 28,210 ± 0,02 | 42,300 ± 0,00 | 2810,100 ± 0,20 |
| | 7 | 28,290 ± 0,02 | 42,910 ± 0,02 | 2700,800 ± 0,65 |
| | 8 | 28,210 ± 0,02 | 35,260 ± 0,03 | 2640,900 ± 0,92 |
| | Promedio | 28,248 ± 0,03 | 37,344 ± 0,02 | 2691,738 ± 0,49 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.20. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 3 (punto de muestreo longitudinal 3) hora: 4:00 pm:

| Día | Pto de muestreo (transversal) | Temperatura (°c) | Velocidad (Km/h) | Caudal (m ³ /h) |
|----------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | 28,570 ± 0,03 | 28,620 ± 0,33 | 2116,300 ± 0,95 |
| | 2 | 28,500 ± 0,00 | 34,320 ± 0,03 | 2800,600 ± 0,80 |
| | 3 | 28,500 ± 0,00 | 35,840 ± 0,07 | 2565,300 ± 0,99 |
| | 4 | 28,520 ± 0,03 | 35,800 ± 0,00 | 2660,000 ± 0,00 |
| | 5 | 28,500 ± 0,00 | 38,800 ± 0,00 | 2720,100 ± 0,20 |
| | 6 | 28,490 ± 0,02 | 42,290 ± 0,02 | 2810,000 ± 0,00 |
| | 7 | 28,590 ± 0,02 | 41,440 ± 0,06 | 2899,100 ± 0,92 |
| | 8 | 28,520 ± 0,03 | 36,640 ± 0,06 | 2669,900 ± 0,20 |
| | Promedio | 28,524 ± 0,02 | 36,719 ± 0,07 | 2655,163 ± 0,51 |
| 2 | 1 | 28,610 ± 0,02 | 29,260 ± 0,51 | 2118,500 ± 1,53 |
| | 2 | 28,600 ± 0,00 | 34,350 ± 0,03 | 2801,800 ± 0,98 |
| | 3 | 28,560 ± 0,03 | 35,770 ± 0,04 | 2568,900 ± 0,76 |
| | 4 | 28,640 ± 0,03 | 35,760 ± 0,05 | 2660,400 ± 0,80 |
| | 5 | 28,500 ± 0,00 | 38,760 ± 0,03 | 2716,900 ± 1,38 |
| | 6 | 28,520 ± 0,03 | 42,290 ± 0,08 | 2810,200 ± 0,40 |
| | 7 | 28,700 ± 0,00 | 41,420 ± 0,07 | 2702,500 ± 1,67 |
| | 8 | 28,660 ± 0,05 | 36,620 ± 0,07 | 2640,300 ± 3,50 |
| | Promedio | 28,599 ± 0,02 | 36,779 ± 0,11 | 2627,438 ± 1,38 |
| 3 | 1 | 28,230 ± 0,03 | 29,160 ± 0,48 | 2119,500 ± 1,00 |
| | 2 | 28,260 ± 0,06 | 34,360 ± 0,03 | 2803,000 ± 0,00 |
| | 3 | 28,340 ± 0,05 | 35,780 ± 0,05 | 2581,100 ± 0,70 |
| | 4 | 28,300 ± 0,00 | 35,760 ± 0,05 | 2659,100 ± 0,92 |
| | 5 | 28,260 ± 0,06 | 38,770 ± 0,03 | 2719,500 ± 1,00 |
| | 6 | 28,300 ± 0,00 | 42,290 ± 0,08 | 2808,400 ± 1,31 |
| | 7 | 28,300 ± 0,00 | 41,420 ± 0,07 | 2703,800 ± 0,98 |
| | 8 | 28,330 ± 0,09 | 36,640 ± 0,06 | 2639,600 ± 2,27 |
| | Promedio | 28,290 ± 0,04 | 36,773 ± 0,11 | 2629,250 ± 1,02 |
| 4 | 1 | 28,640 ± 0,05 | 29,250 ± 0,50 | 2118,700 ± 1,30 |
| | 2 | 28,530 ± 0,04 | 34,240 ± 0,04 | 2798,400 ± 1,64 |
| | 3 | 28,540 ± 0,05 | 35,730 ± 0,09 | 2589,200 ± 0,65 |
| | 4 | 28,610 ± 0,05 | 35,770 ± 0,04 | 2658,800 ± 1,22 |
| | 5 | 28,520 ± 0,03 | 38,730 ± 0,04 | 2720,000 ± 0,94 |
| | 6 | 28,520 ± 0,04 | 42,170 ± 0,09 | 2807,000 ± 3,06 |
| | 7 | 28,600 ± 0,06 | 41,830 ± 0,80 | 2895,000 ± 1,69 |
| | 8 | 28,500 ± 0,00 | 36,560 ± 0,06 | 2669,200 ± 0,78 |
| | Promedio | 28,558 ± 0,04 | 36,785 ± 0,21 | 2657,038 ± 1,41 |
| 5 | 1 | 28,190 ± 0,02 | 28,840 ± 0,42 | 2114,700 ± 1,19 |
| | 2 | 28,210 ± 0,02 | 34,350 ± 0,03 | 2801,900 ± 0,92 |
| | 3 | 28,480 ± 0,03 | 35,750 ± 0,03 | 2601,200 ± 1,48 |
| | 4 | 28,300 ± 0,00 | 35,800 ± 0,00 | 2660,400 ± 0,61 |
| | 5 | 28,230 ± 0,06 | 38,740 ± 0,03 | 2718,700 ± 1,19 |
| | 6 | 28,280 ± 0,04 | 42,270 ± 0,03 | 2810,100 ± 0,20 |
| | 7 | 28,300 ± 0,03 | 41,360 ± 0,06 | 2703,400 ± 1,50 |
| | 8 | 28,500 ± 0,00 | 36,560 ± 0,06 | 2639,600 ± 2,82 |
| | Promedio | 28,311 ± 0,02 | 36,709 ± 0,08 | 2631,250 ± 1,24 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.21. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 4 (punto de muestreo longitudinal 4) hora: 9:00 am:

| Día | Pto de muestreo (transversal) | Temperatura (°c) | Velocidad (Km/h) | Caudal (m ³ /h) |
|----------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | 29,180 ± 0,07 | 11,330 ± 0,16 | 968,700 ± 1,12 |
| | 2 | 28,700 ± 0,00 | 8,960 ± 0,08 | 1018,800 ± 1,07 |
| | 3 | 28,400 ± 0,00 | 12,590 ± 0,06 | 1055,300 ± 0,73 |
| | 4 | 28,200 ± 0,05 | 12,080 ± 0,07 | 907,800 ± 0,40 |
| | 5 | 28,420 ± 0,04 | 15,330 ± 0,26 | 1101,200 ± 0,27 |
| | 6 | 28,200 ± 0,00 | 12,540 ± 0,08 | 1399,400 ± 0,33 |
| | 7 | 28,200 ± 0,00 | 13,200 ± 0,00 | 713,000 ± 0,30 |
| | 8 | 28,210 ± 0,06 | 14,800 ± 0,00 | 970,400 ± 0,53 |
| | Promedio | 28,439 ± 0,03 | 12,604 ± 0,09 | 1016,825 ± 0,59 |
| 2 | 1 | 29,240 ± 0,03 | 12,600 ± 0,00 | 765,000 ± 3,27 |
| | 2 | 28,720 ± 0,03 | 11,900 ± 0,10 | 1030,600 ± 0,53 |
| | 3 | 28,360 ± 0,21 | 12,300 ± 0,00 | 918,800 ± 0,98 |
| | 4 | 28,230 ± 0,11 | 10,860 ± 0,08 | 852,500 ± 0,68 |
| | 5 | 28,270 ± 0,05 | 10,450 ± 0,20 | 824,300 ± 0,43 |
| | 6 | 28,230 ± 0,03 | 11,810 ± 0,09 | 1015,300 ± 0,95 |
| | 7 | 28,200 ± 0,00 | 13,720 ± 0,11 | 960,700 ± 0,95 |
| | 8 | 28,100 ± 0,07 | 14,600 ± 0,00 | 1080,600 ± 0,80 |
| | Promedio | 28,419 ± 0,07 | 12,280 ± 0,07 | 930,975 ± 1,07 |
| 3 | 1 | 28,640 ± 0,03 | 9,880 ± 0,09 | 827,200 ± 0,27 |
| | 2 | 28,800 ± 0,00 | 10,940 ± 0,08 | 919,800 ± 0,93 |
| | 3 | 28,200 ± 0,00 | 11,900 ± 0,00 | 700,100 ± 0,20 |
| | 4 | 28,100 ± 0,07 | 10,600 ± 0,00 | 582,700 ± 0,95 |
| | 5 | 28,230 ± 0,06 | 8,600 ± 0,00 | 355,300 ± 0,31 |
| | 6 | 28,300 ± 0,00 | 11,530 ± 0,03 | 675,200 ± 0,40 |
| | 7 | 28,030 ± 0,03 | 12,100 ± 0,00 | 863,800 ± 0,27 |
| | 8 | 28,240 ± 0,03 | 13,040 ± 0,20 | 826,900 ± 0,20 |
| | Promedio | 28,318 ± 0,03 | 11,074 ± 0,05 | 718,875 ± 0,44 |
| 4 | 1 | 29,080 ± 0,17 | 11,370 ± 0,15 | 968,000 ± 0,79 |
| | 2 | 28,720 ± 0,03 | 8,930 ± 0,06 | 1017,400 ± 0,80 |
| | 3 | 28,360 ± 0,05 | 12,590 ± 0,06 | 1055,800 ± 0,27 |
| | 4 | 28,190 ± 0,07 | 12,100 ± 0,07 | 908,400 ± 0,53 |
| | 5 | 28,250 ± 0,04 | 10,380 ± 0,22 | 1101,100 ± 0,87 |
| | 6 | 28,260 ± 0,03 | 11,840 ± 0,08 | 1399,600 ± 0,33 |
| | 7 | 28,140 ± 0,04 | 13,720 ± 0,11 | 712,100 ± 0,92 |
| | 8 | 28,220 ± 0,06 | 14,640 ± 0,05 | 969,400 ± 0,61 |
| | Promedio | 28,403 ± 0,06 | 11,946 ± 0,10 | 1016,475 ± 0,64 |
| 5 | 1 | 29,120 ± 0,05 | 9,860 ± 0,08 | 815,000 ± 0,00 |
| | 2 | 28,740 ± 0,03 | 10,950 ± 0,13 | 917,300 ± 1,33 |
| | 3 | 29,040 ± 0,03 | 11,900 ± 0,00 | 700,900 ± 0,20 |
| | 4 | 28,000 ± 0,00 | 10,600 ± 0,00 | 582,000 ± 0,00 |
| | 5 | 28,400 ± 0,00 | 8,600 ± 0,00 | 358,000 ± 0,67 |
| | 6 | 28,200 ± 0,00 | 11,560 ± 0,03 | 675,800 ± 0,65 |
| | 7 | 28,230 ± 0,04 | 12,100 ± 0,00 | 865,400 ± 0,61 |
| | 8 | 28,210 ± 0,02 | 13,110 ± 0,21 | 826,500 ± 0,33 |
| | Promedio | 28,493 ± 0,02 | 11,085 ± 0,06 | 717,613 ± 0,47 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.22. Resultados de la temperatura, velocidad y caudal de aire correspondiente al ciclo 4 (punto de muestreo longitudinal 4) hora: 4:00 pm:

| Día | Pto de muestreo (transversal) | Temperatura (°c) | Velocidad (Km/h) | Caudal (m ³ /h) |
|----------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | 28,660 ± 0,06 | 14,310 ± 0,11 | 979,200 ± 0,65 |
| | 2 | 28,700 ± 0,00 | 12,790 ± 0,07 | 957,200 ± 0,98 |
| | 3 | 28,730 ± 0,03 | 13,170 ± 0,08 | 973,000 ± 0,00 |
| | 4 | 28,640 ± 0,04 | 13,110 ± 0,05 | 974,700 ± 0,31 |
| | 5 | 28,640 ± 0,05 | 13,800 ± 0,03 | 933,800 ± 1,22 |
| | 6 | 28,500 ± 0,00 | 14,910 ± 0,02 | 965,000 ± 0,00 |
| | 7 | 28,720 ± 0,03 | 14,000 ± 0,00 | 1022,300 ± 0,79 |
| | 8 | 28,620 ± 0,04 | 14,720 ± 0,03 | 1046,300 ± 0,60 |
| | Promedio | 28,651 ± 0,03 | 13,851 ± 0,05 | 981,438 ± 0,57 |
| 2 | 1 | 29,280 ± 0,07 | 14,160 ± 0,13 | 979,200 0,65 |
| | 2 | 28,900 ± 0,00 | 12,810 ± 0,02 | 956,800 0,98 |
| | 3 | 28,790 ± 0,02 | 13,290 ± 0,02 | 973,300 0,31 |
| | 4 | 28,780 ± 0,04 | 13,070 ± 0,03 | 973,900 0,36 |
| | 5 | 28,730 ± 0,03 | 13,780 ± 0,04 | 934,600 0,80 |
| | 6 | 28,810 ± 0,02 | 14,930 ± 0,03 | 964,700 1,08 |
| | 7 | 28,700 ± 0,00 | 14,030 ± 0,03 | 1020,800 0,83 |
| | 8 | 28,700 ± 0,00 | 14,620 ± 0,07 | 1044,800 0,50 |
| | Promedio | 28,836 ± 0,02 | 13,836 ± 0,05 | 981,013 ± 0,69 |
| 3 | 1 | 28,330 ± 0,04 | 14,080 ± 0,11 | 978,800 ± 0,65 |
| | 2 | 28,540 ± 0,13 | 12,770 ± 0,06 | 956,500 ± 1,00 |
| | 3 | 28,440 ± 0,05 | 13,240 ± 0,08 | 973,700 ± 0,31 |
| | 4 | 28,340 ± 0,05 | 13,040 ± 0,03 | 973,500 ± 0,33 |
| | 5 | 28,500 ± 0,16 | 13,780 ± 0,05 | 932,400 ± 1,04 |
| | 6 | 28,380 ± 0,07 | 14,950 ± 0,03 | 965,300 ± 0,95 |
| | 7 | 28,630 ± 0,03 | 14,060 ± 0,03 | 1022,200 ± 0,27 |
| | 8 | 28,390 ± 0,09 | 14,560 ± 0,06 | 1044,700 ± 0,52 |
| | Promedio | 28,444 ± 0,08 | 13,810 ± 0,06 | 980,888 ± 0,63 |
| 4 | 1 | 29,300 ± 0,07 | 14,290 ± 0,09 | 978,800 ± 1,22 |
| | 2 | 28,900 ± 0,00 | 12,640 ± 0,16 | 956,300 ± 0,73 |
| | 3 | 28,790 ± 0,02 | 13,830 ± 0,04 | 972,700 ± 0,31 |
| | 4 | 28,800 ± 0,00 | 13,060 ± 0,08 | 972,800 ± 0,98 |
| | 5 | 28,740 ± 0,03 | 13,680 ± 0,07 | 935,000 ± 0,00 |
| | 6 | 28,800 ± 0,03 | 14,560 ± 0,06 | 965,600 ± 0,80 |
| | 7 | 28,700 ± 0,00 | 14,000 ± 0,00 | 1021,900 ± 0,87 |
| | 8 | 28,720 ± 0,03 | 14,410 ± 0,05 | 1045,200 ± 0,58 |
| | Promedio | 28,844 ± 0,02 | 13,809 ± 0,07 | 981,038 ± 0,69 |
| 5 | 1 | 28,510 ± 0,02 | 14,790 ± 1,98 | 972,200 ± 0,58 |
| | 2 | 28,640 ± 0,12 | 12,270 ± 0,15 | 955,800 ± 0,65 |
| | 3 | 28,560 ± 0,06 | 13,150 ± 0,10 | 966,600 ± 0,44 |
| | 4 | 28,460 ± 0,06 | 13,080 ± 0,03 | 956,300 ± 0,73 |
| | 5 | 28,320 ± 0,03 | 13,730 ± 0,03 | 928,800 ± 1,33 |
| | 6 | 28,330 ± 0,20 | 14,920 ± 0,03 | 967,400 ± 0,85 |
| | 7 | 28,900 ± 0,00 | 14,010 ± 0,02 | 1017,500 ± 0,54 |
| | 8 | 28,840 ± 0,03 | 14,510 ± 0,09 | 1037,500 ± 0,80 |
| | Promedio | 28,570 ± 0,06 | 13,808 ± 0,30 | 975,263 ± 0,74 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.23. Resultados de la humedad relativa y concentración de $C_4H_6O_2$. Hora de estudio: 9:00 am:

| Punto de muestreo longitudinal | Día | Humedad relativa (%) | Concentración de $C_4H_6O_2$ (ppm) |
|--------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| 1 (salida 1) | 1 | 55,790 | 7,341 ± 0,04 |
| | 2 | 55,800 | 7,341 ± 0,04 |
| | 3 | 55,800 | 7,411 ± 0,07 |
| | 4 | 55,820 | 7,355 ± 0,05 |
| | 5 | 55,790 | 7,355 ± 0,05 |
| | Promedio | 55,800 | 7,3606 ± 0,05 |
| 2 (salida 2) | 6 | 55,800 | 7,453 ± 0,09 |
| | 7 | 55,800 | 7,466 ± 0,07 |
| | 8 | 55,810 | 6,976 ± 0,25 |
| | 9 | 55,800 | 7,384 ± 0,07 |
| | 10 | 55,810 | 7,368 ± 0,04 |
| | Promedio | 55,804 | 7,3294 ± 0,10 |
| 3 (salida 3) | 11 | 55,810 | 7,016 ± 0,18 |
| | 12 | 55,800 | 7,466 ± 0,07 |
| | 13 | 55,810 | 6,935 ± 0,25 |
| | 14 | 55,800 | 7,126 ± 0,22 |
| | 15 | 55,800 | 7,340 ± 0,00 |
| | Promedio | 55,804 | 7,1766 ± 0,14 |
| 4 (salida 4) | 16 | 55,810 | 6,786 ± 0,05 |
| | 17 | 55,820 | 6,528 ± 0,06 |
| | 18 | 55,810 | 7,020 ± 0,07 |
| | 19 | 55,820 | 6,980 ± 0,06 |
| | 20 | 55,800 | 6,855 ± 0,08 |
| | Promedio | 55,812 | 6,8338 ± 0,06 |

Fuente: El Autor (2009)

Tabla 4.24. Resultados de la humedad relativa y concentración de $C_4H_6O_2$. Hora de estudio: 4:00 am:

| Punto de muestreo longitudinal | Día | Humedad relativa (%) | Concentración de $C_4H_6O_2$ (ppm) |
|--------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| 1 (salida 1) | 1 | 55,800 | 7,605 ± 0,05 |
| | 2 | 55,780 | 7,606 ± 0,03 |
| | 3 | 55,800 | 7,645 ± 0,05 |
| | 4 | 55,800 | 7,619 ± 0,04 |
| | 5 | 55,800 | 7,550 ± 0,05 |
| | Promedio | 55,796 | 7,605 ± 0,04 |
| 2 (salida 2) | 6 | 55,780 | 7,645 ± 0,05 |
| | 7 | 55,810 | 7,592 ± 0,04 |
| | 8 | 55,790 | 7,633 ± 0,03 |
| | 9 | 55,810 | 7,605 ± 0,06 |
| | 10 | 55,800 | 7,564 ± 0,05 |
| | Promedio | 55,798 | 7,6078 ± 0,05 |
| 3 (salida 3) | 11 | 55,800 | 7,564 ± 0,05 |
| | 12 | 55,810 | 7,620 ± 0,00 |
| | 13 | 55,800 | 7,551 ± 0,09 |
| | 14 | 55,810 | 7,633 ± 0,03 |
| | 15 | 55,800 | 7,632 ± 0,05 |
| | Promedio | 55,804 | 7,600 ± 0,04 |
| 4 (salida 4) | 16 | 55,790 | 7,550 ± 0,05 |
| | 17 | 55,810 | 7,507 ± 0,05 |
| | 18 | 55,810 | 7,633 ± 0,03 |
| | 19 | 55,820 | 7,550 ± 0,05 |
| | 20 | 55,800 | 7,603 ± 0,09 |
| | Promedio | 55,806 | 7,5686 ± 0,05 |

Fuente: El Autor (2009)

A continuación se muestran las figuras: 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15 constituida por gráficos en los cuales se observa el comportamiento de las magnitudes obtenidas en cada proceso de medición, para cada variable evaluada y las cuales están reflejadas de las tablas 4.15 a la 4.24.

4.2.1. Temperatura medida en cada punto longitudinal de muestreo

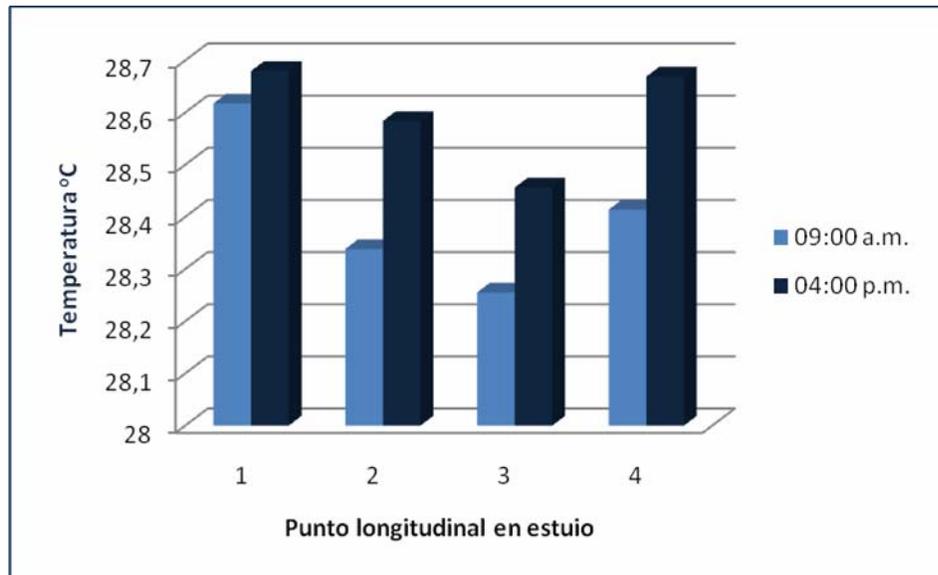


Figura 4.12. Comportamiento de la temperatura en los puntos de muestreo longitudinales estudiados, a las dos horas de estudio seleccionadas

Fuente: El Autor (2009)

En la figura 4.12 mostrada anteriormente, se observan los valores de temperatura medidos a lo largo de la ducteria de aire de la zona crítica perteneciente a la biblioteca en estudio, al inicio y al final de la jornada laboral (9:00 am, 4:00 pm), dichos valores presentan un comportamiento similar en los cuatro (4) puntos longitudinales de estudio como era de esperarse, esto debido a que el ducto estudiado no cuenta con perturbaciones de ningún tipo, por lo contrario, a lo largo del mismo existe una disminución de la temperatura, exceptuando el punto cuatro (4), en el cual existe un aumento notable de la temperatura, esto se debe a que dicho punto corresponde a la etapa final del ducto estudiado, en la cual se crea un choque de la corriente de aire con el reflujó producido al final de dicho ducto, que genera un calentamiento en la masa de aire. Paralelo a esto, se observa un ligero incremento de la variable estudiada a las 4:00 pm con respecto a las 9:00 am, causado por el

calentamiento producido a lo largo del día. Cabe destacar que ambos comportamientos (9:00 am y 4:00 pm) son similares pero a distinta escala.

4.2.2. Velocidad medida en cada punto longitudinal de muestreo

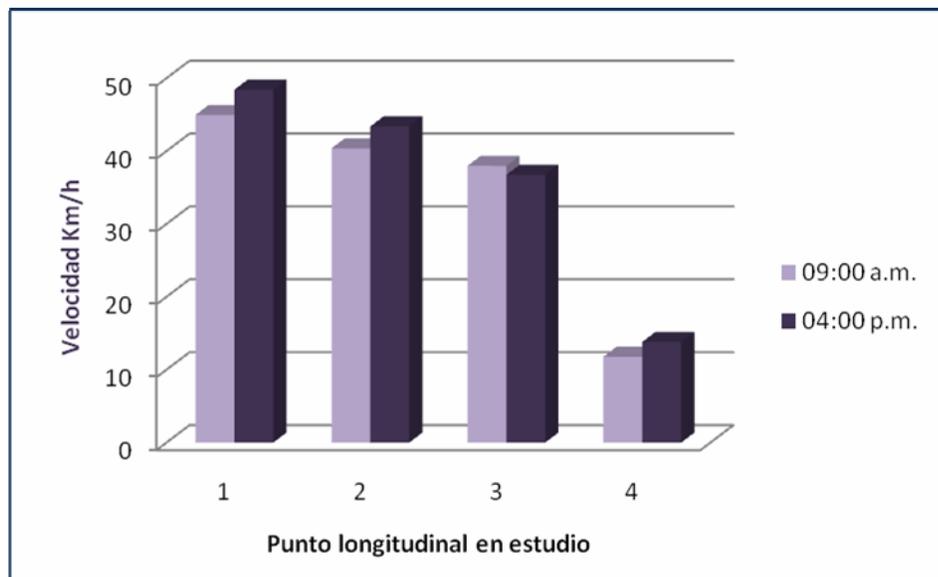


Figura 4.13. Comportamiento de la Velocidad del aire en los puntos de muestreo longitudinales estudiados, a las dos horas de estudio seleccionadas

Fuente: El Autor (2009)

En el figura 4.13 se muestran los valores de velocidad para cada uno de los puntos longitudinales estudiados, y en la cual se observa una tendencia clara de disminución por parte de cada valor de velocidad evaluado, esto se debe a que el sistema en estudio está constituido por una sección de 12,4 m de longitud y no cuenta con ningún tipo de perturbación, que afecte la conducta normal de la velocidad, esto trae como consecuencia poco flujo de aire para el área correspondiente a los puntos tres (3) y cuatro (4) de la zona crítica estudiada, lo cual genera discomfort en los usuarios que frecuentan esa zona.

4.2.3. Caudal medido en cada punto longitudinal de muestreo

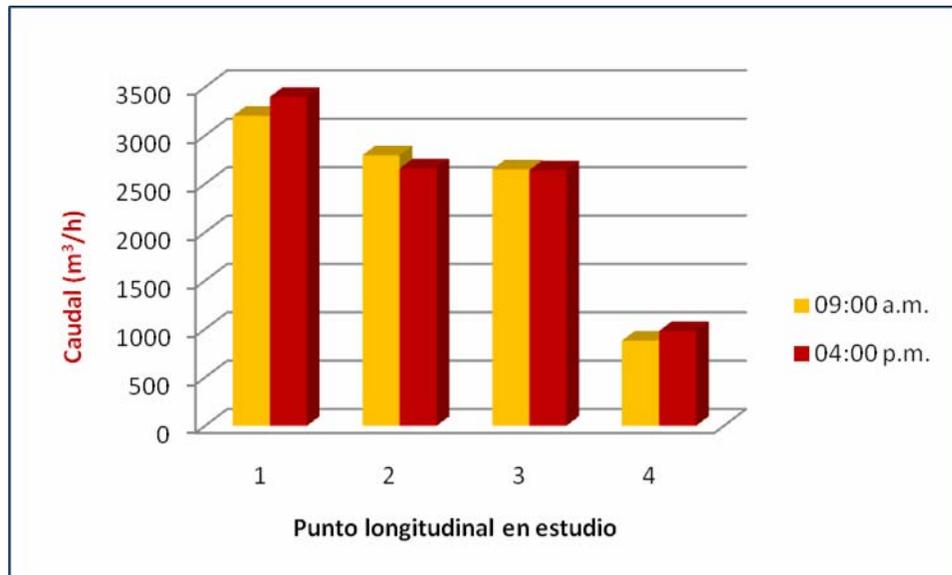


Figura 4.14. Comportamiento del caudal de aire en los puntos de muestreo longitudinales estudiados, a las dos horas de estudio seleccionadas

Fuente: El Autor (2009)

En la figura 4.14 se observan los valores correspondientes al caudal de aire medido en el sistema de ductos de la zona crítica, dichos valores arrojan una tendencia lógica, ya que el ducto de estudio cuenta con la misma sección transversal a lo largo de toda su longitud, también, debido a que la presencia de cada rejilla de ventilación, causa pérdida de la masa de aire, hasta el punto longitudinal cuatro (4), el cual cuenta con la menor cantidad de aire. Es importante señalar el comportamiento directamente proporcional de la velocidad del aire medida (*figura 4.13*) en cada punto de estudio con sus respectivos caudales, comportamiento avalado por la teoría consultada. De igual forma cabe destacar la pequeña variación existente entre las mediciones realizadas al inicio y al final de la jornada laboral (9:00 am y 4:00 pm respectivamente), dicha diferencia se atribuye a la presencia de incertidumbre durante los ciclos de medición mediciones.

4.2.4. Concentración de $C_4H_6O_2$ en cada punto longitudinal de muestreo

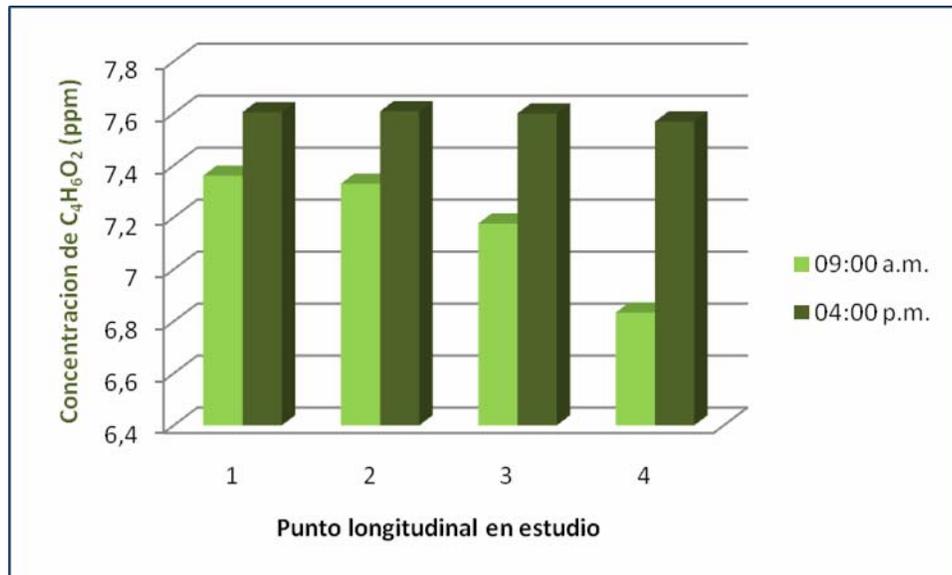


Figura 4.15. Comportamiento de la Concentración del $C_4H_6O_2$ en los puntos de muestreo longitudinales estudiados, a las dos horas de estudio seleccionadas

Fuente: El Autor (2009)

En la figura 4.15 se aprecia el comportamiento de la concentración del Acetato de Vinilo ($C_4H_6O_2$) muestreado en la sala de estudio 1 correspondiente a la zona crítica de la biblioteca objeto de estudio, a las dos horas de evaluación preestablecidas, es inevitable apreciar la tendencia a incrementar del gas de estudio a medida de que pasan las horas de la jornada laboral normal, demostrando lo impredecible del comportamiento de los Compuestos Orgánicos Volátiles en relación con los cambios de temperatura, ya que teóricamente el comportamiento esperado enuncia que a mayor temperatura menor densidad del gas ya que cuando un gas sufre un incremento de temperatura, la energía cinética supera por mucho a la energía de atracción de las moléculas, arrojando como consecuencia un volumen menor de moléculas de gas, sin embargo, no debe dejarse a un lado la gran variedad de fuentes importantes que afectan en este caso la concentración del COVs en estudio, como la

existencia de materiales y mobiliario, la presencia o ausencia de los usuarios y las malas condiciones de ventilación las cuales no garantizan el aporte de aire fresco exterior suficiente para diluir el $C_4H_6O_2$ hasta niveles que estén por debajo de la percepción humana y, evidentemente, de los considerados perjudiciales para la salud por la norma COVENIN 2253-2001, por lo tanto los resultados obtenidos demuestran lo enunciado por *Cuadrí Nestor 2001*: “la emisión de compuestos químicos orgánicos a partir de materiales en ambientes cerrados puede depender menos de las condiciones de temperatura y más de las condiciones de ventilación y actividades realizadas en el interior en de ambientes cerrados”.

4.2.5. Porcentaje de Humedad relativa medio en cada punto longitudinal de muestreo

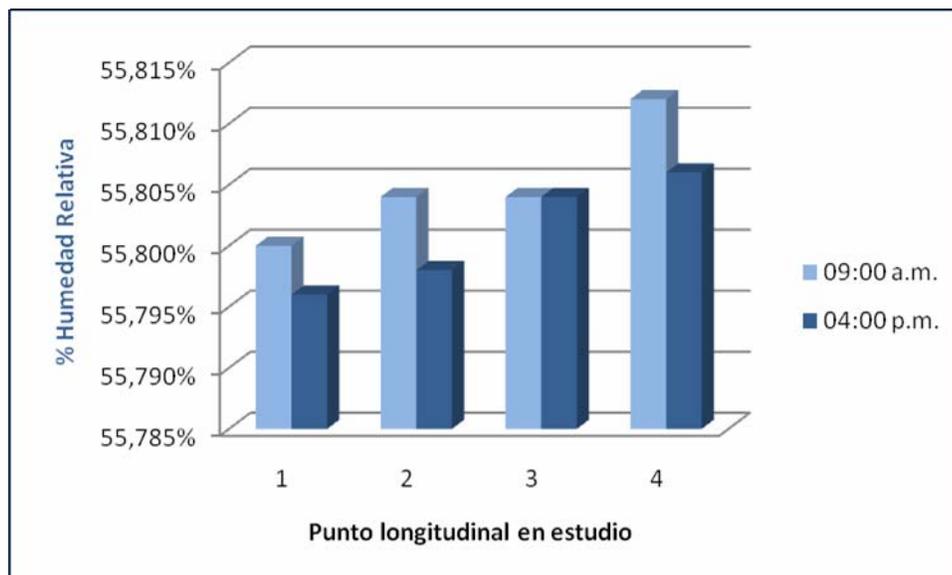


Figura 4.16. Comportamiento de la Humedad Relativa en los puntos de muestreo longitudinales estudiados, a las dos horas de estudio seleccionadas

Fuente: El Autor (2009)

En la figura 4.16 mostrada anteriormente, se encuentran los valores de humedad relativa medidos al inicio y al final de la jornada laboral de la biblioteca en estudio,

en dicha figura se puede observar el comportamiento de dicha humedad a lo largo de los cuatro (4) puntos longitudinales de estudio, obteniéndose como resultado un aumento de la misma tanto a las 9:00 am como a las 4:00 pm, dichos valores al compararse con los valores de temperatura medidos en los mismos puntos presentan un comportamiento directamente proporcional. Cabe destacar que la media de la humedad relativa medida está por encima de los límites permisibles en verano según *Cuadrí Néstor 2001*, quien enuncia que la humedad relativa en un recinto cerrado debe estar comprendida entre (30 y 50) %, el exceso de humedad es un factor que afecta notablemente la calidad del aire y a su vez acrecienta las quejas en cuanto a confort presentadas en los usuarios del recinto ya que si la mismas se disminuye, incrementa de la transpiración del cuerpo, relacionada con la temperatura ambiental, que ocasiona, fundamentalmente, sequedad de las mucosas de nariz, boca, entre otros, de lo contrario, si se incrementa dicho porcentaje de humedad, la transpiración se ve reducida, y la termorregulación del cuerpo no es eficaz ante altas temperaturas.

4.2.6. Valores de Temperatura de la zona crítica en estudio

Tabla 4.25. Mediciones de Temperatura de bulbo seco en la zona crítica

| Nivel (2.25 y 4.35), Sala 2 (Zona Crítica) | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|----------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Promedio |
| Temperatura °C | 30,1 | 30,0 | 30,2 | 30,0 | 30,0 | 30,06 |

Fuente: El Autor (2009)

En la tabla 4.25 mostrada, se observan las magnitudes de temperatura de bulbo seco medidas en la zona crítica mediante en Psicrómetro Digital durante los cinco (5) días de medición, dicho valor se encuentra significativamente por encima del límite permisible enunciado en la norma COVENIN 2253: 2001, el cual es 24 °C, esta condición revela el alto grado de disconfort presentado en las encuestas realizadas a

los usuarios en la zona crítica, y a su vez demuestra que el aire acondicionado está funcionando de manera muy deficiente en el área evaluada, factor que contribuye significativamente a la mala calidad del aire en dicha área.

4.3. Establecimiento de los límites permisibles para los valores de medición obtenidos tomando en cuenta lo recomendado por la norma covenin 2253: 2001.

Para establecer los valores permisibles de cada una de las variables estudiadas, fue necesario recurrir a normativas y reglamentos especializados en calidad de aire en recintos cerrados entre los cuales se pueden mencionar las Normas COVENIN 2250-2000 y 2253-2001, además, las Normas 55-1992 de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers), UGT (Unión General de Trabajadores), entre otras literaturas, y se obtuvo lo mostrado en la tabla 4.26 que se muestra a continuación:

Tabla 4.26. Valores máximos permisibles de cada una de las variables medidas según COVENIN, ASHRAE y UGT:

| Variable | Normativa | | | | |
|------------------------------------|-----------|--------|-----|-------|---------------|
| | COVENIN | ASHRAE | UGT | FGC | Soler & Palau |
| Concentración de $C_4H_6O_2$ (ppm) | 10 | X | X | X | X |
| Temperatura (°C) | 24 | 23 | 25 | X | X |
| Humedad (%) | 50 | 45 | 50 | X | X |
| Velocidad del aire (m/s) | 2,50 | X | X | 12,19 | 5,00 |

Fuente: El Autor (2009)

Nota: Cabe destacar que los valores de temperatura y humedad relativa mostrados en la tabla 4.26, corresponden a la media de los valores máximos y mínimos enunciados por dichas normativas y reglamentos.

4.4. Comparación de los valores obtenidos mediante las mediciones con los valores permisibles según la norma antes mencionada.

Para realizar la comparación de cada variable medida con su límite permisible respectivo, es necesario analizar la tabla 4.27 mostrada a continuación, tomando en cuenta que la misma corresponde al promedio de valores entre cada una de las normativas consultadas, esto con el fin de facilitar la comparación y su respectivo análisis.

Tabla 4.27. Comparación de valores medidos con sus respectivos límites permisibles

| Variable | Valor Medido | | Límite Permissible |
|------------------------------------|--------------|---------|--------------------|
| | 9:00 am | 4:00 pm | |
| Concentración de $C_4H_6O_2$ (ppm) | 7,1751 | 7,5954 | 10 |
| Temperatura (°C) | 28,4062 | 28,5972 | 24 |
| Humedad (%) | 55,81 | 55,80 | 48,33 |
| Velocidad del aire (m/s) | 9,3842 | 9,889 | 6,56 |

Fuente: El Autor (2009)

Nota: cada límite permisible expresado en la tabla 4.27, corresponde al promedio de valores entre cada una de las normas estudiadas.

En la tabla 4.27 se encuentran las magnitudes medidas durante cada uno de los ciclos de muestreo, observándose que para la **concentración del contaminante** estudiado $C_4H_6O_2$ se obtuvo que a horas de la mañana existe una concentración de 7,1751 ppm, concentración un poco por debajo del límite permisible de dicho gas para lugares de trabajo enunciado por la normativa correspondiente, a horas de la tarde dicha concentración aumenta en forma significativa, debido al incremento de la temperatura del recinto, sin embargo, dicho aumento no excede la concentración ambiental permisible el cual corresponde a 10 ppm en ambientes laborales, a pesar de que las concentraciones no exceden dicho límite, si es notable la cercanía de estos valores a la concentración permisible, por lo cual deben tomarse medidas en cuanto a confort que garanticen óptimas condiciones de calidad de aire para los usuarios del recinto. Por otro lado, al analizar la **temperatura**, se observa un exceso de calor notable, ya que dicha variable supera de forma significativa al límite permisible enunciado por las normas consultadas, dicho límite corresponde a una temperatura de 24 °C para recintos destinados a actividades similares a las realizadas en la biblioteca estudiada, el valor obtenido experimentalmente a horas de la mañana de los días de estudio cuenta con una media de 28,4062 °C, este valor sobrepasa el límite permisible establecido por la norma, paralelo a esto, se observa que para horas de la tarde la temperatura aumenta hasta unos 28,5972 °C, este incremento de temperatura refuerza la necesidad de mejoramiento de los parámetros de confort y sustenta las quejas presentadas por el personal y los estudiantes que visitan las instalaciones en estudio en cuanto a temperatura se refiere, esto a la vez sugiere la aplicación inmediata de medidas correctivas en el sistema de acondicionamiento de aire de la zona crítica estudiada. En cuanto a la **humedad relativa**, y a pesar de que el comportamiento de la misma es inversamente proporcional a la temperatura, las magnitudes obtenidas sobrepasan ligeramente el límite permisible definido para lugares de trabajo, dicho exceso de humedad relativa afecta negativamente la termorregulación del cuerpo, ya que hace que la misma pierda eficacia. Al momento de estudiar la **velocidad** del aire en los puntos de muestreo evaluados, se encuentra un exceso de la significativo

misma con respecto a la velocidad y los estándares establecidos, esto es atribuido a factores como la incertidumbre presente en las mediciones realizadas, así como también a errores de diseño y funcionamiento del sistema de aire acondicionado, debido a que la norma COVENIN 2250 – 2000, establece que para toda ductería de aire que se encuentre entre 4 m y 6 m de altura (caso del ducto estudiado) la velocidad de aire requerida será 2,5 m/s, y que la misma no puede exceder en un 10% los valores enunciados en dicha norma, por lo cual de suma importancia reducir la misma ya que influye sobre factores como: la distribución del aire en el volumen la estratificación del aire vertical u horizontal, la estabilidad en temperatura y humedad, el nivel acústico dentro del recinto, como ruidos transmitidos por el mismo equipo de generación, así como también aumenta la pérdida de carga y genera discomfort en los usuarios que frecuentan el ambiente estudiado, es importante destacar que si el sistema de aire acondicionado hace circular aire a velocidades elevadas y a altas temperaturas, se genera un significativo estrés térmico en los usuarios.

4.5. Evaluar la calidad del aire mediante el monitoreo de la concentración de los gases contaminantes en el ambiente interior estudiado.

La evaluación de la calidad del aire depende del desarrollo de los factores explicados con detalle en el capítulo III del presente trabajo, y en este sentido, a continuación se muestra la tabla 4.28, que contiene una serie de valores obtenidos con la finalidad de calcular la recirculación de aire en la zona estudiada. Dichos valores corresponden al caudal de extracción del aire en m^3/h dispuesto en la zona crítica.

Tabla 4.28. Caudal de extracción de aire en la zona crítica objeto de estudio:

| Q(m³/h) Rejilla de succión de aire acondicionado | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Pto 1 | 612 | 618 | 615 | 622 | 619 |
| Pto 2 | 1701 | 1706 | 1701 | 1701 | 1687 |
| Pto 3 | 2426 | 2430 | 2430 | 2430 | 2433 |
| Pto 4 | 4561 | 4560 | 4566 | 4552 | 4560 |
| Pto 5 | 4490 | 4485 | 4490 | 4491 | 4490 |
| Pto 6 | 4135 | 4130 | 4126 | 4138 | 4132 |
| Pto 7 | 4126 | 4120 | 4120 | 4116 | 4108 |
| Pto 8 | 4960 | 4956 | 4960 | 4959 | 4960 |
| Pto 9 | 4830 | 4830 | 4830 | 4830 | 4830 |
| Pto 10 | 4781 | 4781 | 4780 | 4782 | 4780 |
| Pto 11 | 4888 | 4895 | 4900 | 4903 | 4900 |
| Pto 12 | 1600 | 1597 | 1597 | 1593 | 1593 |

Fuente: el autor (2009)

En el anexo F, del presente trabajo, se encuentra el procedimiento sistemático llevado a cabo para calcular el número mínimo de cambios de aire requeridos por hora en la zona estudiada, así como también, los volúmenes mínimos de aire a suplir con el sistema de aire acondicionado instalado en la misma área, obteniéndose lo siguiente:

$$Q_{\text{entrada}} \approx Q_{\text{extraído}}$$

$$3301,45375 \text{ m}^3/\text{h} \approx 3592,3667 \text{ m}^3/\text{h}$$

Como se puede observar, el caudal de suministro de aire que circula a través del ducto del sistema de aire acondicionado de la zona crítica corresponde al valor de 3301,45375 m³/h, dicho valor es ligeramente menor que el correspondiente al caudal extraído de la misma zona a través de la rejilla de extracción, el cual corresponde a 3592,3667 m³/h, dichos valores tienen una pequeña diferencia en magnitud, lo cual es

atribuible a la incertidumbre presente en ambos procesos de medición, debido a que la diferencia es mínima tomando en cuenta la gran cantidad de mediciones realizadas para obtener dichos valores, se puede afirmar que estos concuerdan con los requisitos enunciados en la norma COVENIN 2250:2000, ya que el caudal de entrada al recinto es prácticamente igual que el caudal de aire extraído, esta condición si bien favorece a la disminución de la concentración de contaminantes como el Acetato de Vinilo, si no existe renovación de aire (inyección de aire fresco), solo se está recirculando aire viciado en el recinto, lo cual incrementa la proliferación de contaminantes y hace que el sistema de acondicionamiento de aire no cubra las necesidades básicas que un sistema de aire acondicionado debe cumplir según la ya mencionada norma (ver anexo F) y a su vez afecta negativamente la calidad del aire, cuya condición arroja como consecuencia afectación en la salud del usuario en general. Por otra parte al analizar los valores obtenidos en cuanto a número **mínimo de cambios de aire requeridos por hora** en la zona estudiada, se observa que si bien el valor obtenido es menor que el sugerido por la norma COVENIN 2250 (ver anexo F), este no representa gran problema, debido a que para locales destinados al uso de salas de conferencia o salas de estudio dicha norma sugiere un mínimo de 10 cambios de aire por hora, y el valor obtenido fue de 9,623 cambios/hora, lo cual se traduce en que el problema principal de la biblioteca no radica en la recirculación del aire, sino en que el aire que circula es aire viciado, y no existe ningún contacto con el ambiente exterior por lo cual no se garantiza la inyección de aire fresco al ambiente interior estudiado. Esto incrementa la existencia de contaminantes debido a la cantidad de aire viciado y estancado en el área evaluada, que a la vez se traduce en potenciales problemas de salud para los usuarios en general.

CAPITULO V

PROPUESTA DE TECNICAS PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN LA BIBLIOTECA EN ESTUDIO

Para lograr la disminución de los contaminantes en el interior de la zona crítica objeto de estudio, así como también de cualquier recinto y mejorar la calidad del aire dentro del mismo, es necesario tomar en cuenta los cinco (5) parámetros básicos que definen la calidad del aire en ambientes cerrados como lo son: la temperatura, la humedad relativa, la concentración de contaminantes, velocidad del aire y recirculación de aire. En el presente trabajo y luego de haber evaluado cada uno de dichos parámetros de forma detallada en los capítulos anteriores, se procedió a proponer técnicas en este sentido, que mejoren de forma significativa la calidad del aire del recinto evaluado (*zona crítica, sala 1*) así como también de cada área afectada de la biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui.

A continuación se muestran una serie de técnicas y medidas a tomar para mejorar la calidad del aire en general, tomando en cuenta específicamente la zona crítica estudiada, cabe destacar que cada técnica propuesta puede ser aplicada en cualquier zona afectada por contaminantes y con condiciones similares en la biblioteca estudiada.

5.1. Técnicas de ventilación

Para lograr la disminución de este y cualquier contaminante es recomendable aplicar una técnica común en muchas ocasiones, pero desconocida en otras, dicha técnica es la **Ventilación por Extracción local**, la cual, según la norma COVENIN

2250:2000, es la técnica o método mediante el cual los contaminantes bajo control son capturados en o cerca del lugar donde son generados o dispersados. Dicha técnica debe ser capaz de captar los contaminantes desde su origen, de forma tal que en el lugar de trabajo no sobrepasen las concentraciones ambientales permisibles (CAP), para la aplicación de esta técnica deben instalarse campanas, cubiertas o cabinas que deben cubrir tanto como sea posible los puntos donde los contaminantes son generados, deben ser diseñados de manera que estos contaminantes caigan, sean proyectados o liberados en dirección de la corriente de extracción. Del mismo modo, cada campana instalada debe ser diseñada para que la cantidad de aire extraído en cada una de ellas sea capaz de originar en el área de dispersión del contaminante al lugar de trabajo, una velocidad de captura no menor a lo establecido en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Velocidad de captura del contaminante.

| Condición de dispersión del contaminante | Intervalo de velocidad de captura (m/s) | Ejemplo |
|--|---|--|
| Generado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo. | 0,3 - 0,5 | Evaporación de tanques. Desengrase. |
| Generado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo. | 0,5 - 1,0 | Cabinas de pulverización, llenados intermitentes de recipientes, transferencias entre transportadores de baja velocidad, soldadura, galvanización. |
| Generación activa en zonas de rápido movimiento de aire. | 1,0 - 2,5 | Pintura a presión en cabinas, llenado de barriles, carga de transportadores, trituradores, criba en frío. |
| Generación con una alta velocidad inicial en zonas de muy rápidos movimientos de aire. | 2,5 - 10,0 | Molienda, limpieza con abrasivo cribado en caliente. |

Fuente: COVENIN (2000)

Al momento de instalar un sistema de ventilación por extracción local, la velocidad del aire en los conductos del sistema de ventilación, debe ser tal que garantice el transporte del contaminante, evitando su asentamiento y la obstrucción

del sistema, a su vez los equipos de recuperación que conforman el sistema de extracción deben ser seleccionados y diseñados de acuerdo al tipo de contaminante que se desea extraer. La capacidad de los mismos y la eficiencia de remoción del contaminante, deben ser tales que no originen contaminación en la atmosfera, por otra parte, los ductos que constituyen los sistemas de este tipo, deben ser construidos de metal, o cualquier material no combustible.

Otra técnica aplicable para reducir el Acetato de Vinilo y otros COVs, es la aplicación de la **Ventilación para dilución**, ya que la misma se aplica con la función principal de disminuir concentraciones de contaminantes presentes en los lugares de trabajo antes que alcancen la zona respiratoria del trabajador, dicha disminución se lleva a cabo mezclando el aire contaminando con aire no contaminando. El caudal de aire a extraer debe calcularse tomando en cuenta el peso molecular del o los contaminantes, las concentraciones ambientales permisibles, peso específico, los caudales másico y volumétricos de los mismos, así como también el coeficiente de dilución, dicho coeficiente es adimensional y se calcula tomando en cuenta las condiciones del lugar de trabajo. La aplicación de dicha técnica garantiza la liberación de los contaminantes del ambiente interior evaluado.

5.2. Control de las fuentes de contaminación

Una de las formas más eficaces de reducir los niveles de concentración de un contaminante en el aire interior es controlar las fuentes de contaminación del interior del edificio. Entre ellas se pueden mencionar, los materiales utilizados en la construcción y la decoración, las actividades que tienen lugar dentro del edificio y los propios ocupantes. Si se juzga necesario regular las emisiones debidas a los materiales de construcción empleados, existen patrones que limitan directamente el contenido en estos materiales de compuestos para los que se han demostrado efectos

nocivos para la salud. Algunos de estos compuestos se consideran cancerígenos, como el formaldehído, el benceno, algunos plaguicidas, el amianto, el acetato de vinilo (en altas concentraciones), la fibra de vidrio y otros. Otro método es regular las emisiones estableciendo patrones de emisión.

Una forma de establecer patrones de emisión es a partir de un nivel aceptable de concentración del contaminante y calcular una tasa de emisión que tenga en cuenta las condiciones ambientales: temperatura, humedad relativa, tasa de intercambio de aire, factor de carga, etc., representativas de la forma en que se utiliza realmente el producto. La principal crítica a este método es que más de un producto puede generar el mismo compuesto contaminante. Los patrones de emisión se obtienen a partir de determinaciones realizadas en atmósferas controladas en las que las conducciones están perfectamente definidas. Se han publicado normas para Estados Unidos (ASTM 1989). Las críticas planteadas habitualmente contra estas normas se basan en los siguientes aspectos: *a)* la dificultad para obtener datos comparativos, y *b)* los problemas surgidos cuando un espacio de interior tiene fuentes intermitentes de contaminación.

Con respecto a las actividades que pueden tener lugar en un edificio, el principal foco de atención lo constituye el mantenimiento del edificio. En estas actividades, el control puede establecerse en forma de reglamentos sobre la realización de ciertas tareas, como recomendaciones relativas a la aplicación de plaguicidas o la reducción de exposición al plomo o al amianto durante la renovación o la demolición de un edificio.

Las pruebas realizadas en el ambiente de prueba demostraron que para controlar la variable crítica que es la Temperatura se requiere manejar el calefactor, humidificador y deshumidificador, en tanto que para controlar la Humedad se maneja el humidificador y el deshumidificador y el CO₂ se controla usando los ventiladores.

De acuerdo a las normas y estándares como el de la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), “los espacios cerrados, deben garantizar una situación de confort al 90% de la población”. Paralelamente a esta situación, cuando la ventilación es incorrecta, como consecuencia de un aporte insuficiente de aire fresco exterior, puede haber una acumulación de contaminantes de varios orígenes hasta unos niveles que resulten molestos para sus ocupantes. “El aporte de aire exterior ha de ser suficiente para diluir los contaminantes hasta niveles que estén por debajo de la percepción humana y, evidentemente, de los considerados perjudiciales para la salud”.

5.3. Utilización de membranas zeolíticas

Una de las técnicas emergentes para la eliminación de compuestos orgánicos volátiles (COVs), según *Sierra Sonia (2001)*, es la utilización de membranas, hasta el momento orgánicas, la cual consiste básicamente en separar COVs del aire. Una membrana es una capa semipermeable que interviene en la separación de dos corrientes de fluido y/o actúa por acción de una fuerza impulsora como una barrera (activa o pasiva) al transporte de materia entre las fases adyacentes a ella. Dicha fuerza impulsora puede ser una diferencia de presión, de concentración o de potencial eléctrico.

Las membranas inorgánicas resultan superiores a las orgánicas por su mayor resistencia a las condiciones extremas de operación: resistencia mecánica, térmica y química, además de ser inertes a la degradación biológica y de fácil limpieza. Por otra parte, las zeolíticas son una clase de membranas inorgánicas microporosas donde cristales de zeolitas se hacen crecer en forma de capa continua sobre un soporte comercial meso o macroporoso. De este modo, el resultado es un nuevo material (una membrana zeolítica) que tiene las excepcionales propiedades de las zeolitas:

estructura microporosa cristalina y regular con poros del tamaño de las moléculas (0,4 - 0,7) nm, elevada estabilidad térmica y química, actividad catalítica, posibilidad de intercambio iónico, etc.

La aplicación de las membranas zeolíticas consiste en el diseño de un sistema capaz de eliminar de una forma no destructiva los contaminantes tipo COVs, ya mencionados, del ambiente interior de casas, fábricas, oficinas, hospitales, colegios, bibliotecas entre otros, donde están presentes en bajas concentraciones. Para ello se utilizan membranas zeolíticas de silicalita y ZSM-5, cuya principal característica, sobre todo de la primera, es la organofilicidad, es decir, la interacción específica y fuerte con compuestos orgánicos. Esto, mediante un mecanismo de adsorción y bloqueo de poros, favorece la separación selectiva de los COVs, incluso siendo más voluminosos que el aire.

Por otra parte, la ventaja de trabajar con membranas en vez de con filtros (puesto que sistemas de filtros de carbón activo, o incluso de zeolitas, para llevar a cabo la purificación prevista existen en el mercado) radica en que los primeros se saturan y deben ser reemplazados con regularidad, de lo contrario se convierten ellos mismos en fuente de contaminación, mientras que las membranas pueden llegar a eliminar de forma continua los contaminantes, produciendo una corriente concentrada en ellos (permeado, en este caso) y otra purificada (retenido).

La preparación de estas membranas consiste generalmente en la síntesis hidrotermal de zeolitas sobre soportes tubulares porosos, casi siempre, de alúmina y de acero inoxidable. Estos soportes son comerciales y tienen aplicaciones de micro y ultrafiltración. Es necesario que esta preparación rinda una capa de zeolita lo más continua posible, sin defectos que puedan mermar sus propiedades de separación. El material resultante tiene a la vez la resistencia del soporte y las importantes ventajas de la estructura microporosa de la zeolita soportada. Con más detalle, la síntesis

hidrotermal supone introducir un gel, que contiene fuentes de aluminio y silicio, NaOH y una base orgánica, que actúa como agente estructurante, en un autoclave junto con el soporte. En el autoclave, que permanece durante un tiempo variable (horas o días) a una temperatura entre (90 y 180) °C, se produce la síntesis hidrotermal de la zeolita. Este proceso hace que la zeolita quede fuertemente adherida al soporte poroso, muchas veces formando una capa fina (de unas 10-30 µm de espesor) y continua.

5.4. Inyección de aire fresco a la zona crítica

Antes de explicar con detalle todo lo concerniente a la proposición de esta técnica es necesario aclarar que la zona crítica estudiada, no cuenta con interacción con el aire fresco del exterior de la misma, (*Ver capítulo IV*), ocurre todo lo contrario, es decir, el aire inyectado a la misma mediante el sistema de aire acondicionado, proviene de un área cerrada aledaña, la cual también cuenta con altos focos de contaminación (*ver capítulos III y IV, área de estudio Área 6 - Archivero 2*) de aire de tipo COVs, es necesario recalcar que la norma COVENIN 2250: 2000, señala como requisito fundamental de un sistema de ventilación mecánico sea cual sea, el garantizar que todo el aire viciado y contaminado existente en el interior de cualquier local de una edificación sea suplido por aire fresco y no contaminado inyectado desde el exterior, por esta razón, esta técnica propuesta se basa en realizar una redistribución del ducto de extracción de aire de la zona estudiada de forma tal que exista una conexión directa de la misma con el exterior, instalando un ducto de 7,2 m aproximadamente, de la misma configuración que el ducto de succión ya instalado, es decir la misma sección transversal, de esta forma se garantiza que el aire contaminado expulsado de dicha zona sea liberado al ambiente y no reingresado a la misma, disminuyendo de manera significativa la contaminación y enrarecimiento del aire. En la figura 5.1 se muestra la configuración propuesta para el sistema de aire acondicionado mencionado.

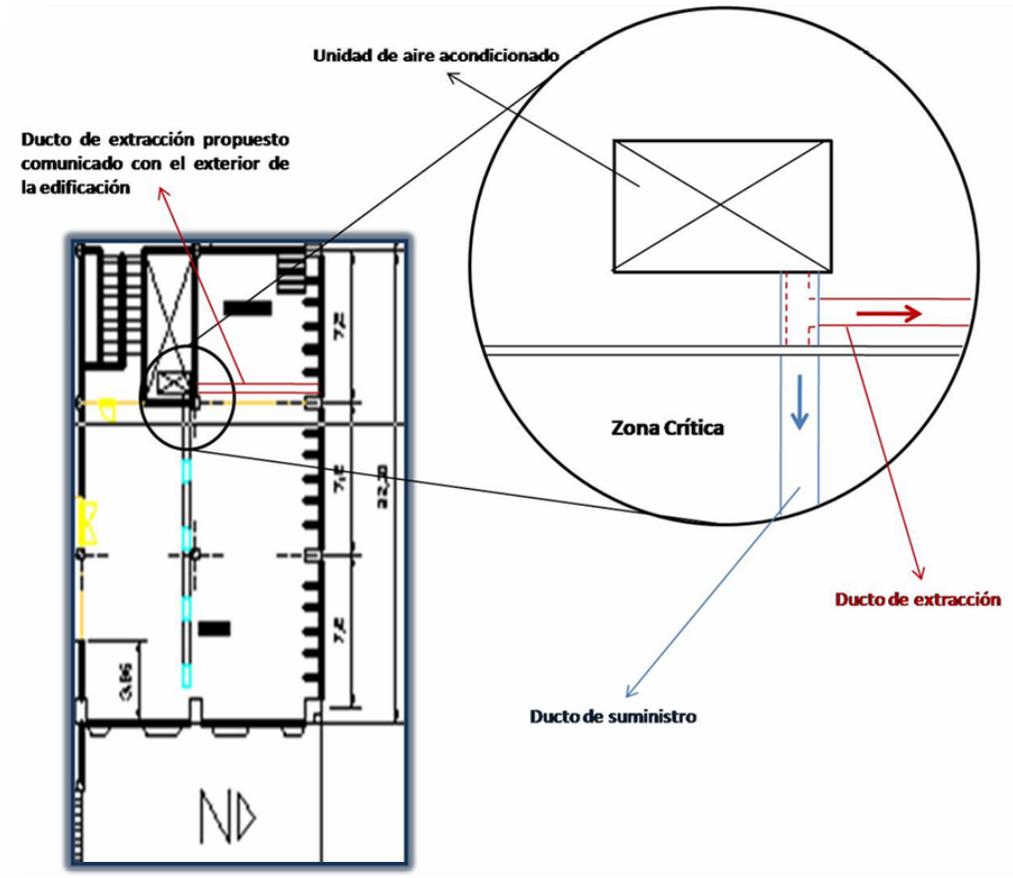


Figura 5.1. Redistribución del ducto de renovación de aire propuesto.

Fuente: El Autor (2009).

5.5. Técnica recomendada para la solución al problema de la contaminación interior

La contaminación interior es un grave problema en los nuevos edificios y por supuesto en los ya existentes, siendo imprescindible actuar lo más eficientemente posible energicamente hablando, pero aumentar los caudales de ventilación representa un mayor consumo energético y costo operativo, por ello, la forma

correcta de actuar debe ir orientada en reducir las fuentes de contaminación, antes que incrementar en forma excesiva los caudales de ventilación, esto, mediante acciones como por ejemplo:

- Reducir el empleo de revestimientos de fibras artificiales
- Disminuir al mínimo el empleo de barnices, materiales aislantes y productos contaminantes.
- Diseñar los sistemas de climatización para permitir la realización de limpiezas periódicas de conductos, fan-coil, unidades terminales, equipos autocontenidos, plenum, baterías, humectadores, etc.
- Vigilar permanentemente la eficacia y limpieza de los filtros.
- Ubicar las tomas de aire exterior en lugares donde no exista la posibilidad de contaminación con otras fuentes.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. Mediante las encuestas realizadas se pudo apreciar que el 37% de los estudiantes consultados presentan síntomas de alergias al visitar las instalaciones del recinto estudiado.
2. Se comprobó mediante la aplicación de los cuestionarios que las fallas en los equipos de aire acondicionados ocurren regularmente según el 36% de la población encuestada.
3. Mediante la presente investigación se demostró que la temperatura en la biblioteca estudiada está por encima del valor estipulado como límite mínimo permisible por la norma COVENIN 2253: 2001.
4. Se comprobó que la humedad relativa del recinto estudiado está por encima del valor permisible reflejado por la norma COVENIN 2253: 2001.
5. Se demostró la presencia en alta concentración del Acetato de Vinilo ($C_4H_6O_2$) mediante las mediciones realizadas con el detector multigas Sirius.
6. Se pudo determinar que la concentración del Acetato de Vinilo muestreado está por debajo del límite permisible reflejado en la norma COVENIN 2253-2001, pero no escapa de la percepción humana dentro del recinto.
7. Se demostró mediante la presente investigación que la velocidad del aire en cada rejilla de suministro excede en forma significativa el límite permisible señalado por la norma COVENIN 2250-2000, lo cual genera gran cantidad de ruido y discomfort en los usuarios.

8. La concentración del Acetato de Vinilo ($C_4H_6O_2$) aumenta al final de la jornada laboral y guarda una relación directamente proporcional con los valores de temperatura obtenidos.
9. En cuanto a la recirculación de aire en la zona crítica estudiada, se pudo demostrar que el aire extraído representa la cantidad mínima establecida en la norma COVENIN 2250-2000, ya que el mismo es aproximadamente igual que la cantidad de aire de suministro.
10. Mediante la evaluación del sistema de aire acondicionado en la zona crítica estudiada, se pudo demostrar la importancia y las ventajas de la inyección de aire fresco proveniente del exterior sobre la inyección de aire viciado proveniente de un área cerrada.
11. El sistema de ventilación evaluado en la zona crítica de la biblioteca, en particular, la distribución de las entradas de aire limpio y salidas de aire viciado, no aseguran una renovación efectiva del aire de la sala estudiada.
12. Se determinó que existe una mala distribución del ducto de suministro de aire ya que en ciertas áreas de la biblioteca la velocidad del aire es relativamente mayor que en otras, lo cual crea incomodidad y disconfort en los usuarios.
13. El sistema de aire acondicionado instalado en la zona crítica a pesar de estar encendido durante las 24 horas del día, no funciona, esto se comprobó luego de muestrear la temperatura en las cuatro (4) salidas de aire del ducto de suministro y encontrar una temperatura media de $28,5017\text{ }^\circ\text{C}$.

6.2. Recomendaciones

1. Implementar las estrategias y/o técnicas para el mejoramiento de la calidad del aire propuestas en la presente Investigación.
2. Realizar un estudio microbiológico en la población muestreada en la biblioteca en estudio, con el fin de evaluar la cantidad de microorganismos presentes en la misma, ya que este es también un factor determinante de la calidad del aire.
3. Aumentar la frecuencia del mantenimiento realizado a todos los equipos de aire acondicionado de la Biblioteca estudiada, con el fin de prevenir fallas en los mismos que afecten las condiciones de confort térmico en el recinto.
4. Realizar un estudio experimental que permita obtener el flujo másico y volumétrico del contaminante en el ducto del área estudiada con el fin de realizar el cálculo efectivo del caudal necesario para integrar un sistema de ventilación para la dilución del contaminante.
5. Evaluar la calidad del aire estudiando la presencia de otros compuestos orgánicos volátiles (COVs), como el Benceno, Xileno, acetona, hexano, amoniaco, entre otros, utilizando el detector multigas Sirius, con el fin de medir la incidencia de estos en la población de la biblioteca.
6. Realizar un estudio de cromatografía de gases para conocer la cantidad exacta de gases y sus respectivas concentraciones en el aire presente en la biblioteca, con el fin de plantear estrategias de disminución de los mismos dirigidas a cada gas específico.
7. Realizar la medición del acetato de vinilo por métodos alternos a la fotoionización de gases, con el fin de comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo, así como también evaluar la efectividad de la medición de los COVs con métodos como: espectrometría de movilidad de iones, onda acústica superficial e ionización de llamas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ✓ GUARDINO S. Xavier (2003). **“Calidad del Aire Interior Riesgos Generales”**, España.
- ✓ SIERRA A. Sonia (2001). **“Eliminación de Compuestos Orgánicos Volátiles del Ambiente Interior de Edificios”**, España
- ✓ SUBILS B. María José (1995). **“Olores: un factor de calidad y confort en ambientes interiores”**, País Vasco
- ✓ BLASS A. Georgina (2003). **“Determinación de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) en Ambiente Laboral”**, México
- ✓ **Catalogo Instalaciones de Climatización y Ventilación U.D. 2 Instalaciones de Ventilación**
- ✓ QUADRI, N. (2001). **“Sistemas de Aire Acondicionado”**. 1º Edición. Librería y Editorial Alsina, Argentina.
- ✓ MENDIVIL M, Ainhoa. (2007). **“Calidad del Aire Interior en los Centros de Educación Infantil del País Vasco”**. País Vasco.
- ✓ ZAMBRANO, J. C., FUMO V, N. (2007). **“Valoración de la Calidad del Aire de la Biblioteca UNET con base en los Niveles de CO₂”**. Táchira Venezuela.
- ✓ WOLFGANG A, Schmid y LAZOS M, Ruben J. Centro Nacional de Metrología CENAM. (2000). **“Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición”**. El Marqués México.

- ✓ BRAVO A, Humberto y SOSA E, Rodolfo. (1987). **“Métodos de Monitoreo de La Calidad de Aire”**. México.
- ✓ MARTÍNEZ R, F. J. (2006) **“Calidad del Aire Interior y Ahorro de Energía en Locales de Oficinas Climatizadas”**. Valencia, España.
- ✓ RODRIGUEZ H, Lili y ALONSO S, Jorge E. (2004). **“Efecto de Factores Ambientales, Laborables y Psicosociales, en el Síndrome del Edificio Enfermo”**. Yucatán México.
- ✓ Comité Técnico Ejecutivo Municipalidad De Bahía Blanca (2004). **“Monitoreo de VOC y BTEX Vientos Abajo de Refinería Petrobras por Cromatografía Gaseosa-detector PID”**. Brasil.
- ✓ SÁNCHEZ M, José María y ALCÁNTARA L, Andrés R. (2006) **“Compuestos Orgánicos Volátiles en el Medio Ambiente”**. España.
- ✓ PITA, Edward G., (2003). **“Acondicionamiento de Aire, Principios y Sistemas”**. Editorial CECSA, México.
- ✓ RODRIGUEZ, E. (2003). **“Ventilación y Aire Acondicionado”**. Universidad de Oriente. Venezuela.
- ✓ CARRIER. Carrier Air Conditioning Co. Mc Graw-Hill. (1976). **“Manual de Aire Acondicionado”** Traducción de HANDBOOK OF AIR CONDITIONING SYSTEM DESIGN. Nueva York.
- ✓ DELTA OHM. (2005). **“Manual de DO2003 HVACR Datalogger”**. USA.

- ✓ MSA INSTRUMENT DIVISION. (2005). **“Detector Multigas Sirius Manual de Operación”**. Pittsburgh, Pennsylvania.
- ✓ MSA INSTRUMENT. (2004). **“Detectores de Fotoionización (PID) Teoría, Usos y Aplicaciones para el Personal de Primeros Auxilios, Agentes de la Policía y Profesionales de los Servicios de Materiales Peligrosos y Contraincendios”**. Pittsburgh EE.UU.

- ✓ ROJAS C. M. (2002), **“Manual de Investigación y Redacción Científica”**. Lima- Perú.

- ✓ F.G.C. Industrial Division (1999) **“Aire Acondicionado Sistema de Ductos”** Colombia.

- ✓ SOLER & PALAU Soluciones Innovadoras (2006) **“Formulas y Datos de Interés: Velocidad Máxima del Aire en Conductos”** España.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

| | |
|------------------|--|
| TÍTULO | EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN EL EDIFICIO DE UNA BIBLIOTECA UNIVERSITARIA. |
| SUBTÍTULO | |

AUTOR (ES):

| APELLIDOS Y NOMBRES | CÓDIGO CULAC / E MAIL |
|------------------------------|--|
| Antonio Abdon Rojas González | CVLAC: 17.730.783 E MAIL: |
| | CVLAC: E MAIL: |
| | CVLAC: E MAIL: |
| | CVLAC: E MAIL: |

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Evaluar

Calidad

Aire

Biblioteca

Luis García

UDO

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

| ÁREA | SUBÁREA |
|---------------------------------|---------------------|
| Ingeniería y Ciencias Aplicadas | Ingeniería Mecánica |

RESUMEN (ABSTRACT): La presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar la calidad del aire de la Biblioteca “Dr. Luis García Pellisier” de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui, y su objetivo principal es Proponer estrategias que permitan la reducción de la concentración de los gases contaminantes (COVs), en el interior de la Biblioteca anteriormente mencionada. Para realizar la evaluación, se utilizaron dos equipos sofisticados de medición, el Detector Multigas Sirius de la MSA Instrument Division y el Datalogger DO2003 Marca Delta OHM, el primero capaz de medir compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en el interior de la edificación, y el segundo mediante una sonda de hilo caliente utilizado para medir los parámetros de confort térmico del recinto en estudio. Para la evaluación, se determinó una zona crítica representativa de la condición de contaminación de toda la biblioteca, y a la cual se le realizó un estudio detallado en donde se analizaron las principales variables que definen la calidad del aire de un ambiente cerrado, las cuales son: Temperatura, Humedad Relativa, Concentración de contaminantes, Velocidad del aire y recirculación del aire. La medición de dichas variables se realizó ubicando puntos longitudinales y transversales de muestreo a lo largo del ducto de suministro de aire de la zona crítica mencionada. Entre los resultados más resaltantes se puede destacar que la concentración del COVs evaluado no sobrepasó el límite permisible establecido, no obstante, está al alcance de los usuarios la percepción del efecto nocivo que el mismo causa en ellos, sin embargo, se proponen algunas estrategias que permitan disminuir la concentración de contaminantes en el ambiente estudiado.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**CONTRIBUIDORES:**

| APELLIDOS Y NOMBRES | ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL | | | | |
|---------------------|-----------------------------|------------|------|----|------|
| | ROL | CA | AS X | TU | JU |
| Edgar Rodríguez | CVLAC: | 4.012.952 | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| Simón Bittar | ROL | CA | AS | TU | JU X |
| | CVLAC: | 3.957.961 | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| Yordy González | ROL | CA | AS | TU | JU X |
| | CVLAC: | 14.126.676 | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | ROL | CA | AS | TU | JU |
| | CVLAC: | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

| | | |
|------|-----|-----|
| 2009 | 10 | 23 |
| AÑO | MES | DÍA |

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**ARCHIVO (S):**

| NOMBRE DE ARCHIVO | TIPO MIME |
|--|--------------------|
| TESIS. Evaluación de la calidad del aire.doc | Application/msword |
| | |
| | |

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H
 I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u
 v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE**ESPACIAL:** (OPCIONAL)**TEMPORAL:** (OPCIONAL)**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**Ingeniero Mecánico**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**Pregrado**ÁREA DE ESTUDIO:**Departamento de Mecánica**INSTITUCIÓN:**Universidad de Oriente- Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajo de grado: Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario.

Rojas González Antonio Abdon
AUTOR

Edgar Rodríguez
TUTOR

Simón Bittar
JURADO

Yordi González
JURADO

POR LA SUBCOMISION DE TESIS