

CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE
EN EL EDIFICIO DE LABORATORIOS DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE
EN EL EDIFICIO DE LABORATORIOS DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

ALBERTO QUANT M.

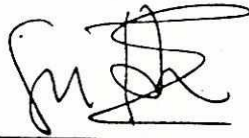
Modelo de Trabajo Profesional presentado
para optar al grado académico de

Licenciatura en Ingeniería Química

Guatemala

1992


Vo. Bo. :



(f)

Ingeniero Oscar Gil Girón
Asesor

Tribunal:



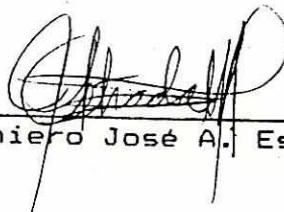
(f)

Ingeniero José Eduardo Calderón



(f)

Ingeniero Oscar Gil Girón



(f)

Ingeniero José A. Estrada

Fecha de aprobación: 10 de abril de 1992

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados de la evaluación que se realizó al sistema de ventilación de los laboratorios de Química de la Universidad del Valle, donde se han reportado problemas de contaminación del aire.

Se encontró que la ubicación de los ventiladores axiales es inadecuada por interferir con las operaciones de las campanas de extracción y porque al operar en contra de la dirección predominante del viento, introducen los contaminantes gaseosos a los demás laboratorios.

Por medio de la medición de la velocidad de ingreso del aire y pruebas utilizando hielo seco, se encontró que sólo tres campanas, de un total de doce con las que cuentan los laboratorios, operan correctamente.

Con base en el cálculo de la tasa de evaporación de los solventes orgánicos e inorgánicos más utilizados, se determinaron las concentraciones de los exhaustos de las campanas, cuando estas operan a una velocidad de ingreso de 100 pies por minuto. Para todos los casos, estas concentraciones estaban por debajo de los niveles máximos permitidos.

Por todo lo anterior, se concluyó que los problemas de contaminación de aire que ocurren en los laboratorios se deben a una inadecuada distribución y operación del sistema de ventilación.

A través de la evaluación de alternativas, se determinó que el método más adecuado para el control de contaminación del aire, producido por las actividades propias de los laboratorios, es la dilución. Para tales fines se diseñó un sistema de captura de gases en los laboratorios y una chimenea como última etapa de control.

CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN	V
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	2
III. MARCO TEORICO	3
A. Definición contaminación del aire	3
B. Clasificación de contaminantes	3
C. Categorización de contaminantes	5
D. Control de gases y vapores	5
1. Absorción	5
2. Adsorción	8
3. Incineración	10
4. Dilución	12
E. Ventilación de los laboratorios	14
1. Ventilación general	14
2. Uso del sistema	15
3. Campanas de extracción	16
IV. RESULTADOS	19
A. Auditoría al sistema de ventilación	19
1. Ubicación del edificio	19
2. Distribución del equipo	19
3. Operación de las campanas	24
4. Tasa actual de ventilación	29
5. Tasa óptima de ventilación	31

V.	DISCUSION	39
	A. Distribución del sistema	39
	B. Campanas de extracción	40
	C. Tasa de ventilación	41
	D. Modelo de flujo de aire	42
	E. Generación de contaminantes	42
	F. Niveles de contaminación exterior	43
	G. Evaluación de alternativas	44
VI.	DISEÑO Y JUSTIFICACION	49
VII.	CONCLUSIONES	66
VIII.	BIBLIOGRAFIA	67
	APENDICES	68
	A. Equipo de control de contaminación	69
	B. Ventilación de los laboratorios	74
	C. Datos meteorológicos	76
	D. Cálculos	81
	E. Datos de diseño	107

I. INTRODUCCION

En el edificio de laboratorios de la Universidad del Valle se realizan diversas prácticas que involucran el uso de una gran variedad de reactivos químicos, muchos de ellos tóxicos u odoríficos, por lo que es necesario controlar sus emanaciones por medio de una adecuada ventilación.

Los gases generados por la evaporación de los solventes o los que se producen por las reacciones de las prácticas, han ocasionado daño a los cultivos ubicados en la parte posterior del edificio y problemas de corrosión a las campanas de extracción y a los ventiladores de las mismas. Además han sido reportados problemas de olores que se difunden por todo el edificio y sus alrededores.

La importancia de este trabajo estriba en conocer si las condiciones actuales del sistema de ventilación son adecuadas para las actividades de los laboratorios de Química, y su objetivo es plantear alternativas que puedan prevenir y corregir la contaminación del aire, tanto en los interiores de los laboratorios como en el exterior.

II. OBJETIVOS

A. Generales

1. Proponer una alternativa para eliminar el problema de contaminación producido por los efluentes gaseosos de los laboratorios de Química del edificio "C" de la Universidad del Valle de Guatemala.
2. Determinar si las condiciones de ventilación dentro de los laboratorios son adecuadas para las actividades que allí se llevan a cabo.

B. Específicos

1. Determinar la naturaleza y estimar la concentración de los gases exhaustos de las campanas de los laboratorios.
2. Determinar la velocidad de ingreso del aire a las campanas de extracción.
3. Establecer la tasa de ventilación actual de los laboratorios.

III. MARCO TEORICO

A. Definición de contaminación del aire

Contaminación del aire significa la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes, tales como polvo, vapor, niebla, olor o humo en cantidades, de características y duración tales que son perjudiciales a la vida humana, animal o vegetal. (1)

B. Clasificación de los contaminantes del aire

De acuerdo al estado de la materia, los contaminantes del aire se clasifican en:

1. Gases Verdaderos: Oxidos de Azufre, Oxidos de Nitrógeno, Ozono, Monóxido de Carbono, etc. Vapores tales como gasolina, solventes de pinturas, agentes de lavandería, etc.
2. Partículas finamente divididas de sólidos o líquidos: sólidos como polvo y humo y líquidos como gotas, niebla y aereosoles.

Los contaminantes gaseosos pueden ser clasificados como orgánicos o inorgánicos. A continuación se resumen los contaminantes inorgánicos y se presentan ejemplos típicos.

1. Compuestos de Azufre: Dióxido y Trióxido de Azufre, Sulfuro de Hidrógeno.
2. Oxidos de Carbono: Monóxido y Dióxido de Carbono.
3. Gases de Nitrógeno: Oxido Nítrico y Dióxido de Nitrógeno.
4. Halógenos y Haluros: Cloruro y Fluoruro de Hidrógeno.
5. Productos Fotoquímicos: Ozono y Oxidantes.
6. Cianuros: Cianuro de Hidrógeno.

Los contaminantes orgánicos se clasifican en:

1. Hidrocarburos
 - a. Parafínicos
 - b. Olefinas
 - c. Aromáticos
2. Compuestos Alifáticos Oxigenados
 - a. Aldehídos
 - b. Cetonas
 - c. Acidos Orgánicos
 - d. Alcoholes
 - e. Haluros Orgánicos
 - f. Sulfuros Orgánicos
 - g. Hidroperóxidos Orgánicos

C. Categorización de los Contaminantes Prioritarios

Los contaminantes prioritarios se pueden dividir en siete categorías principales:

1. Orgánicos Volátiles
2. Orgánicos Extraíbles con Acidos
3. Orgánicos Bases y Neutros
4. Pesticidas
5. Metales
6. Cianuros
- 7 . Asbestos (2)

En el Apéndice A se muestra la lista de algunos de los contaminantes prioritarios.

D. Control de gases y vapores

1. Absorción

El control de la contaminación por medio de absorción es el proceso difusional que produce la transferencia de moléculas del estado gaseoso al líquido (no volátil), debido al gradiente de concentración del contaminante entre las dos fases.

La absorción puede ser química o física. Es química cuando existe una reacción entre el gas absorbido y el solvente, y es física cuando el gas solamente se disuelve en el líquido. Algunos de los solventes mas utilizados son: el agua, aceites minerales y soluciones especiales.

El diseño de los absorbedores (scrubbers), requiere la estimación de los coeficientes de transferencia de masa, consideraciones de equilibrio y la ley de la conservación de la masa para calcular la altura (en caso de una torre) o la longitud de la zona de transferencia de masa. La sección transversal es fijada por el flujo de gas contaminado. La caída de presión depende de la longitud de la zona de contacto.

Un equipo de absorción bien diseñado realiza varias funciones tales como; remoción de contaminantes gaseosos, remoción de partículas; y además, puede enfriar, condensar y humidificar una corriente gaseosa.

En el diseño de un absorbedor, para la contaminación del aire, se encuentran implícitos un bajo consumo energético, elevado tiempo de contacto y alta turbulencia, características que promueven una rápida y efectiva transferencia de masa.

Los métodos de contacto que son utilizados para la absorción de gases para la contaminación del aire, usan los mismos principios de cualquier operación de transferencia de masa. La mayor diferencia está en la concentración del soluto que debe ser removido. En el proceso de absorción usual se transfiere entre el 2 y el 20% del gas a la fase líquida. En la contaminación del aire, la transferencia de masa es de uno

a dos órdenes de magnitud menor, por lo que los absorbedores son mucho más grandes que los utilizados en los procesos químicos. (3)

La absorción es el método comúnmente utilizado para controlar emisiones de Dióxido de Azufre, Sulfato de Azufre, Cloruro de Hidrógeno, Oxidos de Nitrógeno y Amoníaco. Los contaminantes orgánicos también pueden absorberse pero su remoción es dependiente del tipo de solvente.

Existen aproximadamente 15 categorías de absorbedores para gases y de 20 a 30 variaciones de diseño para cada categoría, sin embargo, los más comunes son: la torre empacada, torre de rociado, torre de platos, torre de cámaras y el de tipo Venturi, siendo los dos primeros los más utilizados para el control de los contaminantes inorgánicos. (4)

2. Adsorción

La adsorción es el proceso por el cual, gases, vapores y líquidos son concentrados en la superficie y en los poros de algún material adsorbente. El proceso de adsorción puede ser físico o químico. Si el proceso es físico, sólo las fuerzas de van der Waals actúan en la captura y retención de los contaminantes. Este proceso puede revertirse (desorción) relativamente fácil con la aplicación de moderado calor.

La adsorción química es el resultado de la interacción química entre el adsorbato o material que se remueve y el adsorbente o fase sólida. En este caso la desorción requiere de más energía que en el proceso físico y, generalmente, se utiliza vapor para llevarla a cabo.

Como resultado de cualquier proceso de desorción, se producen altas concentraciones de sustancias tóxicas u odoríficas o bien solventes recuperados. Dependiendo de la naturaleza del material, este puede ser reciclado o incinerado como última técnica de desecho. (5)

Los cuatro tipos de adsorbentes más utilizados, industrialmente, son: el carbón activado, la gel de sílica, la alúmina activada y los tamices moleculares. En la tabla #2 del apéndice A se muestran las formas disponibles y aplicaciones principales para estos cuatro adsorbentes.

La adsorción es el recurso de más frecuente aplicación para el control de pequeñas cantidades de materiales gaseosos que producen problemas de olores y otras molestias. (6)

Las principales variables que intervienen en el correcto funcionamiento de un adsorbedor son: la temperatura, la presión, el tiempo de residencia y la composición química de los adsorbatos y adsorbentes.

El carbón activado es el adsorbente más adecuado para la remoción de los vapores orgánicos del aire. Es utilizado en dos tipos básicos de sistemas de purificación del aire, regenerativo y no regenerativo.

En el sistema regenerativo (Figura #1, Apéndice A), el contaminante adsorbido es removido del carbón activado de modo que el adsorbente puede utilizarse varias veces.

Si el sistema no es regenerativo, el adsorbente, una vez que se ha saturado, es removido y descartado.

Los adsorbedores no regenerativos generalmente se utilizan en aplicaciones de bajas concentraciones de mezclas de vapores que tienen muy poco o ningún valor comercial. Algunos ejemplos de aplicaciones son: campanas de laboratorios; extractores de cocinas; purificadores de aire para hospitales, escuelas, hoteles; filtros de máscaras para cuartos de pintura; etc.

Los adsorbedores regenerativos se usan generalmente para la recuperación de solventes de corrientes gaseosas de concentraciones elevadas. Ejemplos de solventes que pueden ser recuperados son: Acetona, Benceno, Tetracloruro de Carbono, Alcohol Etílico, Heptano, Hexano, Eter Etílico, etc.

Existen ciertos químicos que deben evitarse en la adsorción con carbón activado. Estos tienden a polimerizarse o inactivar el adsorbente. En la tabla #3 del Apéndice A, se presenta una lista de estos compuestos.

3. Incineración

Otra manera de controlar gases y vapores contaminantes es por medio de la combustión. Los gases (volátiles), vapores y/o partículas son quemados con aire (u oxígeno) para producir dióxido de carbono, agua y ceniza.

El principal empleo de la incineración está en el control de compuestos orgánicos volátiles, incluyendo desechos tóxicos y sustancias odoríficas, pero las aplicaciones están limitadas a efluentes que contienen altos flujos y bajas concentraciones de partículas. Generalmente estos efluentes no son capaces de mantener la combustión sin la ayuda de combustible auxiliar, pero contienen suficiente oxígeno para quemar sus propios contaminantes. (2)

La eficiencia de los dispositivos de combustión depende del tiempo de residencia, la temperatura de combustión y el grado de turbulencia.

Existen dos tipos básicos de incineradores utilizados para el control de la contaminación del aire; térmicos (fuego directo) y catalíticos. (Figura # 2, Apéndice A)

Los incineradores térmicos son ampliamente utilizados. Operan a elevadas temperaturas (1500-1800 F). La combustión se realiza en una cámara refractaria para aprovechar la radiación y obtener una temperatura elevada en todo el dispositivo. El tiempo de residencia se lleva a su máximo valor para aprovechar el valor calorífico del contaminante y reducir el consumo del combustible auxiliar.

En los incineradores catalíticos la temperatura se mantiene alrededor de 1200 F. La función del catalizador es la de incrementar la tasa de oxidación, que de otra manera sería impracticamente lenta a esta temperatura. Esta reducción de la temperatura representa un considerable ahorro de combustible.

Con frecuencia el catalizador es de Platino o algún otro metal noble. Estos materiales deben protegerse contra venenos catalíticos y partículas que pueden inactivarlos. Algunos agentes catalíticos son severamente dañados por compuestos clorinados. (7)

4. Dilución (Dispersión atmosférica)

A pesar que este método de control se está enfrentando a mucha oposición, es usado y seguirá usándose en

aplicaciones de bajas concentraciones e intensidad de olores. El uso de una chimenea para diluir y dispersar los contaminantes es uno de los más antiguos y todavía más utilizado método para el control de la contaminación del aire.

En teoría, una corriente de aire contaminada emitida desde una chimenea, va a diluirse a niveles aceptables al tiempo que alcance el nivel del suelo. La mayoría de las aplicaciones industriales de esta técnica consiste solamente en una tubería que descarga los efluentes a 6 ó 10 pies por arriba del techo del edificio. (8)

Aunque las emisiones gaseosas puedan ser controladas por métodos de sorción o combustión, el efluente de los dispositivos de control debe ser dispersado en la atmósfera. Esta es una de las cuatro principales funciones de la atmósfera, por lo que el sistema de chimenea puede ser la segunda etapa de cualquier método de control. (2)

a) Chimeneas

Los principales factores que afectan el diseño de una chimenea son; las normas de calidad de aire, las condiciones meteorológicas y la topografía.(12)

Las normas de calidad de aire se refiere a los concentraciones máximas de los contaminantes permitidas a nivel del suelo. Estas normas son establecidas por el Estado

o por instituciones relacionadas con el control de la contaminación del aire.

Las condiciones meteorológicas determinan los caracteres convectivo y dispersivo del aire local necesarios para predecir, por medio del empleo de un modelo de dispersión atmosférica, las concentraciones de los contaminantes al nivel del suelo. La velocidad promedio del viento, la intensidad de la turbulencia y el gradiente vertical de temperatura, son los parámetros meteorológicos que deben conocerse para el diseño de una chimenea.

La topografía afecta el diseño y, sobre todo, la ubicación de la chimenea. Las irregularidades topográficas inducen la formación de corrientes aleatorias (de eddy) que provocan la acumulación de los contaminantes en lugares específicos. En la figura #3 del Apéndice A se muestran los efectos de los valles, cerros y estructuras en la dispersión atmosférica.

E. Ventilación de los laboratorios.

El sistema de ventilación para un laboratorio es como un pulmón para un ser viviente y es, talvés, el más complicado y sofisticado sistema que pueda encontrarse en cualquier tipo de edificio. (11)

La necesidad de una adecuada ventilación, para los diferentes tipos de laboratorios, varía desde simplemente proporcionar comodidad a los ocupantes hasta el control de sustancias volátiles altamente tóxicas.

Existe una tendencia de los usuarios de los laboratorios de asociar olor con toxicidad. Esto ha resultado en poner demasiada atención a sustancias odoríficas de baja toxicidad y descuidar el control de reactivos altamente tóxicos que tienen poco o ningún olor. (10)

Los objetivos de lograr una eficiente ventilación dentro de los laboratorios son:

- 1) Remover gases, vapores o polvos tóxicos.
- 2) Remover gases y vapores inflamables.
- 3) Remover olores indeseables aunque sean relativamente inofensivos.
- 4) Remover calor y humedad.

1. Ventilación general en los laboratorios

En general, la ventilación se refiere a la cantidad y a la calidad del aire suministrado al laboratorio. El volumen de aire introducido, aire de reposición, es dictado por los volúmenes de contaminantes que allí se produzcan.

El edificio de los laboratorios, las tomas de aire y las descargas (exhaustos) deben orientarse en relación a la dirección predominante de los vientos. (11)

Las descargas de los exhaustos y los ductos de entrada del aire deben estar aislados unos de los otros y estratégicamente colocados y dirigidos de tal forma que los gases expulsados no sean succionados ni reingresados a cualquier parte del edificio o estructuras adyacentes. Además, las tomas y descargas deben estar arregladas dentro del edificio, de manera que se evite la transición de vapores o gases de un laboratorio a otro. (11) (Ver figura # 1 en el Apéndice B)

Idealmente el flujo del aire de reposición dentro del laboratorio debe estar en flujo laminar. El tamaño del cuarto, su geometría o configuración, así como la velocidad y el volúmen afectan el modelo de flujo de aire.

Los dispositivos de ventilación deben producir un movimiento uniforme del aire desde las entradas hacia los puertos de salida. No deben quedar áreas en donde el aire permanezca estático (zonas aisladas), ni con velocidades muy elevadas. En la Figura # 2 del Apéndice B se presenta el modelo de flujo de aire más adecuado para un laboratorio.

2. Uso del sistema de ventilación del laboratorio.

La principal regla de seguridad para manejar sustancias tóxicas y solventes inflamables es que todo el trabajo debe estar hecho de tal forma que los vapores y polvos no entren a la atmósfera general del laboratorio.

De este modo, las operaciones como correr reacciones con productos gaseosos, calentamiento de solventes volátiles o transferencias de químicos de un recipiente a otro, deben realizarse en las campanas.

3. Campanas de extracción de los laboratorios.

Las principales funciones de las campanas de extracción son; capturar, contener y expulsar las emisiones generadas por las operaciones efectuadas dentro de ellas.

Las campanas son evaluadas en términos de la velocidad de ingreso, que es la velocidad del aire, en pies por minuto, en una dirección perpendicular al plano de la abertura (ventana) de la campana.

Las velocidades de ingreso recomendadas son de 100 a 150 pies por minuto (10 y 12) dependiendo, si el uso de las campanas es para operaciones de rutina o peligrosas.

Las operaciones de rutina son las que utilizan químicos de baja toxicidad o pequeños volúmenes de moderada toxicidad.

Un compuesto de baja toxicidad es aquel cuya concentración máxima permitida en el aire es de de 500 ppm o más, los moderadamente tóxicos, de 100 a 500 ppm.

Las operaciones peligrosas son las que utilizan grandes cantidades de compuestos moderadamente tóxicos, cualquier compuesto con un límite de concentración en el aire menor que 100 ppm o cualquier agente carcinógeno.

El éxito de cualquier campana de extracción depende de un flujo de aire irrestricto y de su ubicación en el laboratorio.

Las campanas del laboratorio no están diseñadas para el almacenamiento de químicos y no funcionan adecuadamente cuando están ubicadas muy cerca de ventanas, puertas o cualquier otra restricción física. El flujo del aire es afectado desfavorablemente cuando el motor es débil, cuando las aspas del ventilador han sido corroídas por los gases y vapores, cuando el aire de reposición no es suficiente y cuando los ductos están obstruidos. La eficiencia de captura de las emisiones depende de la velocidad de ingreso pero también de otros factores como el paso de las personas frente a las campanas.

A pesar que las campanas son generalmente consideradas como dispositivos para controlar las concentraciones de

vapores tóxicos, pueden servir también para diluir y expulsar las emisiones de vapores inflamables.

Las campanas de uso general (Figura # 3 Apéndice B) no deben ser utilizadas para operaciones especializadas, como el uso de ácido perclórico, materiales altamente tóxicos o radiactivos. Para este caso se requieren diseños especiales.
(10 y 11)

IV. RESULTADOS

A. Auditoría al sistema de ventilación

1. Ubicación del edificio con respecto a la dirección del viento

La dirección predominante de los vientos se obtuvo en base a los datos proporcionados por el INSIVIMEH (Apéndice C) Para el Valle de Guatemala la dirección predominante es Nor-Noreste, de tal modo que, como se puede ver en la Figura # 1 el viento se dirige de la parte posterior hacia el frente del edificio, donde están los corredores y las puertas de entrada de los laboratorios.

2. Distribución del equipo de ventilación

En la Figura #2 se muestra cómo se distribuye el equipo de ventilación en los laboratorios.

Los laboratorios de Química cuentan con una o más campanas de extracción. Actualmente sólo están funcionando 11 campanas de las 16 que tiene el sistema.

En la Figura #3 puede verse cómo los laboratorios de Química General, Biología Analítica, Fisicoquímica, Análisis Inorgánico y Biología General están equipados con ventiladores axiales que descargan los exhaustos por la parte posterior del edificio , en contra de la dirección predominante del viento.

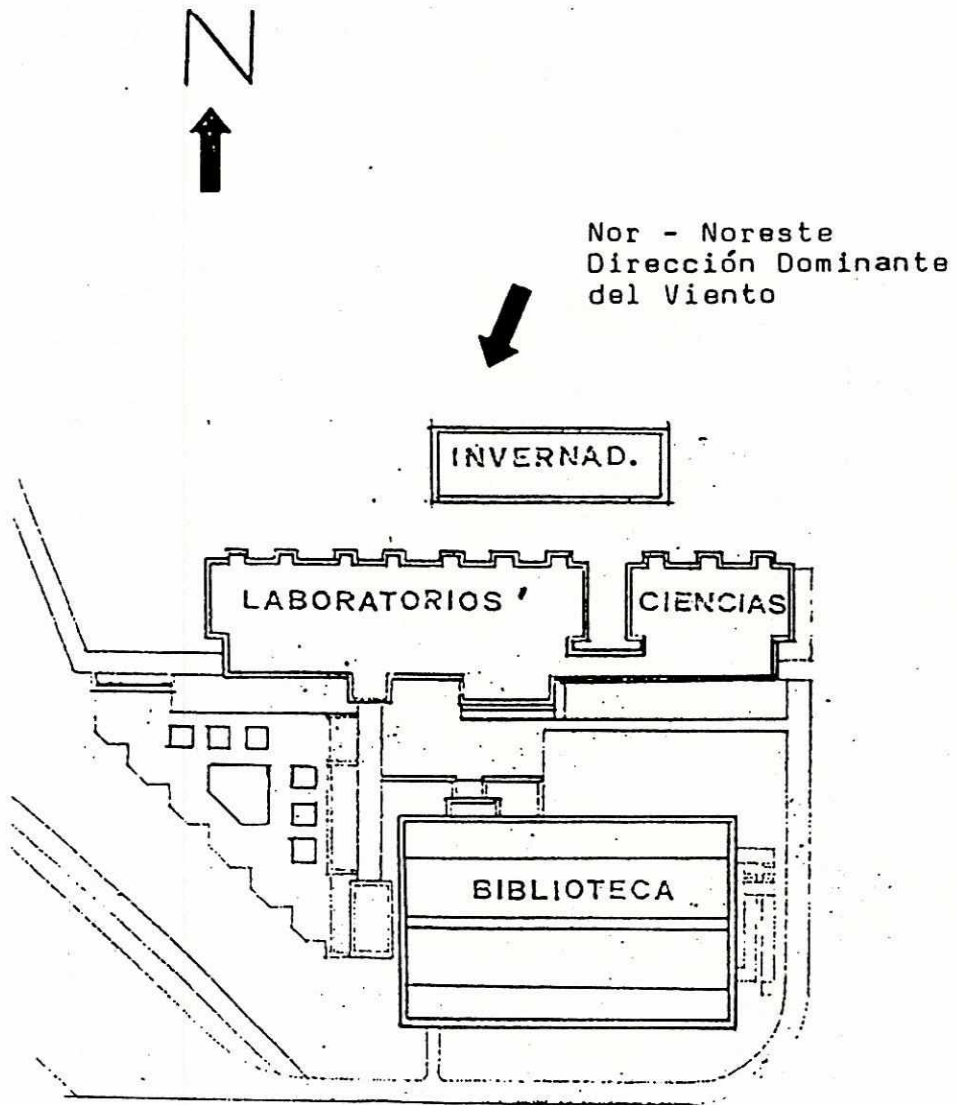
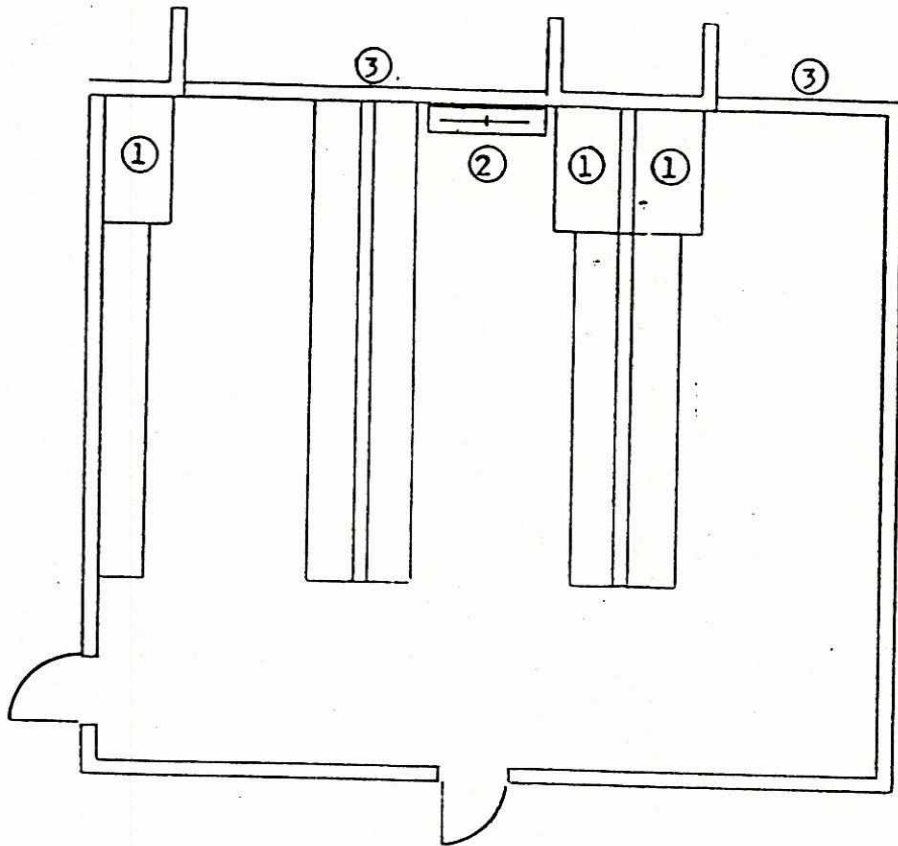


Figura # 1: Ubicación del edificio de laboratorios en relación a los vientos dominantes.

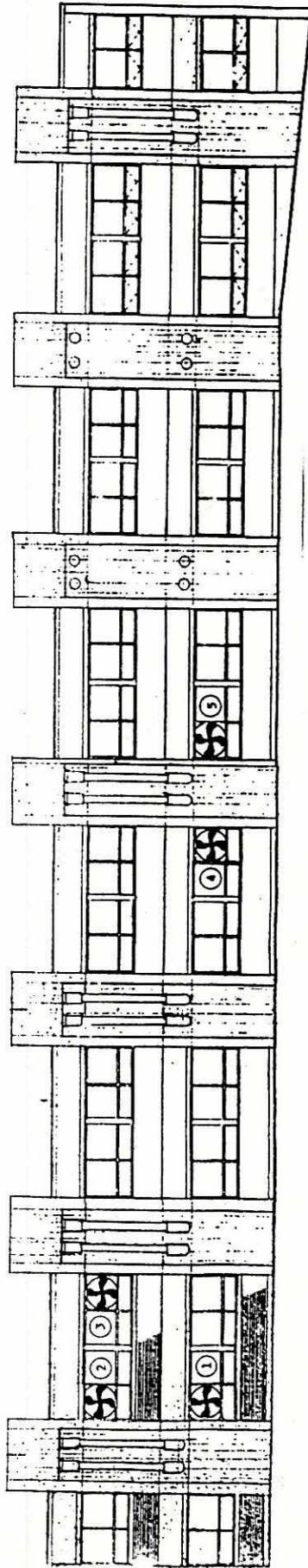
Vista en planta de un laboratorio



- 1. Campana de extracción
- 2. Ventilador axial
- 3. Ventana

Figura # 2: Distribución del equipo de ventilación

ELEVACION NORTE



1. Química General
2. Físicoquímica
3. Análisis Inorgánico
4. Biología Analítica
5. Biología General

Figura # 3: Descargas de los ventiladores axiales en contra de la dirección dominante del viento.

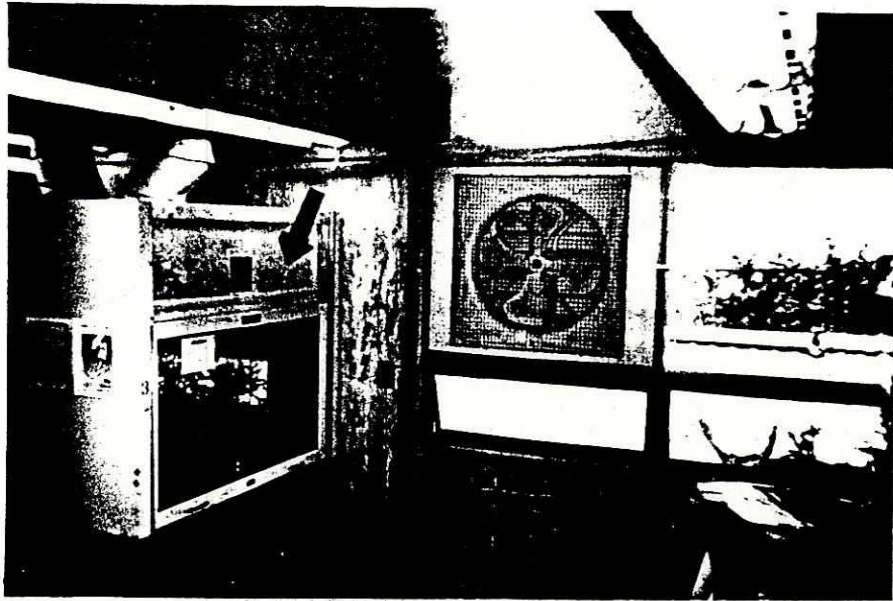


Figura #4: Ventiladores axiales junto a las campanas de extracción.

En las Figuras #2 y #4 se puede observar que los ventiladores axiales están colocados contiguo a las campanas de extracción.

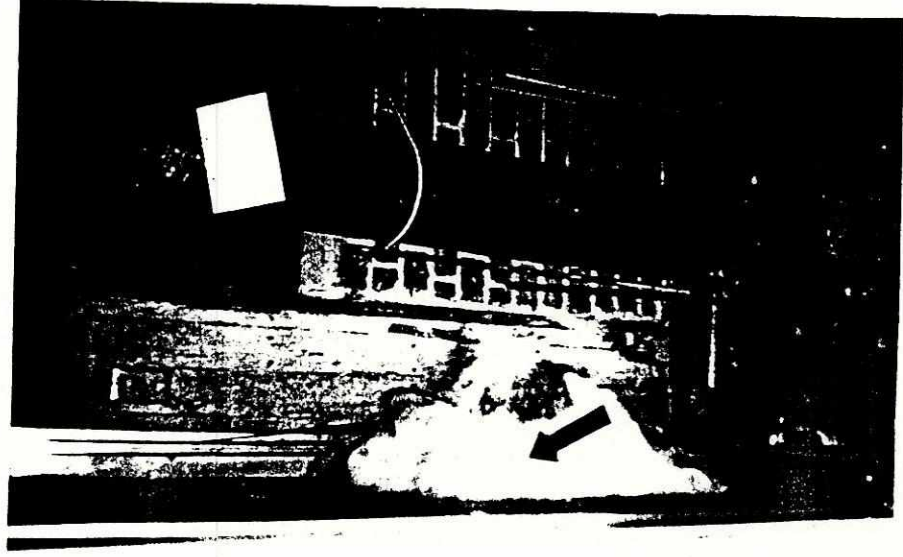
3. Operación de las campanas de extracción

En la Figura 4.5 se muestran los resultados de las pruebas cualitativas, utilizando hielo seco para la evaluación de la operación de las campanas. En la Figura #6 se presentan ejemplos de mal uso de las campanas, las cuales fueron captadas durante la auditoría del sistema de ventilación.

En la Tabla #1 se presentan las velocidades de ingreso promedio y el flujo volumétrico a través de las campanas de extracción. El flujo total se obtuvo de multiplicar la velocidad de ingreso promedio por el área de la ventana de la campana completamente abierta. Todos los cálculos se muestran en el Apéndice D.

Las velocidades de ingreso se determinaron bajo las condiciones normales de operación, es decir, con las puertas y algunas ventanas abiertas y con los ventiladores axiales en funcionamiento.

Las campanas del primer piso se identifican con A y las del segundo con B.



BIBLIOTECA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Figura # 5: Prueba con hielo seco para las campanas de extracción.

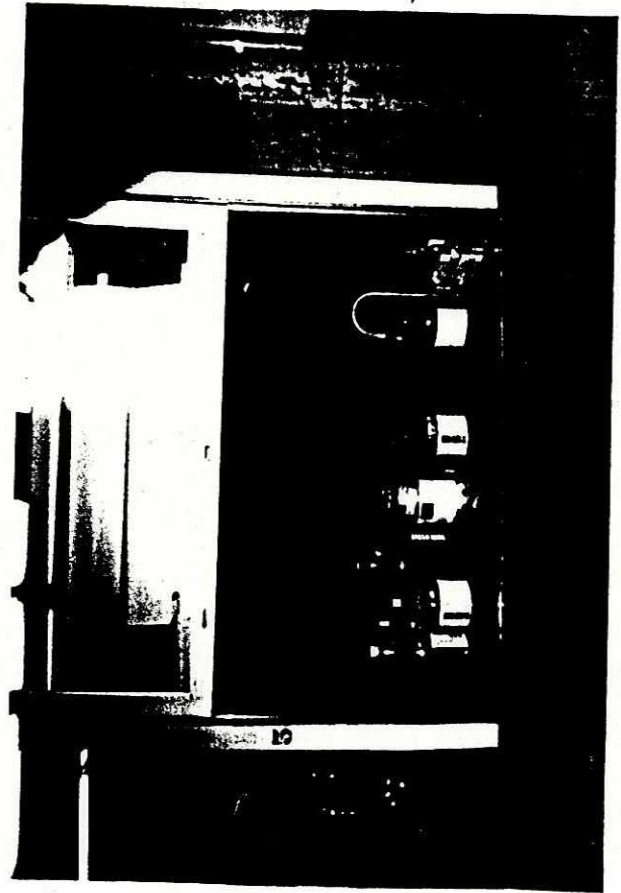
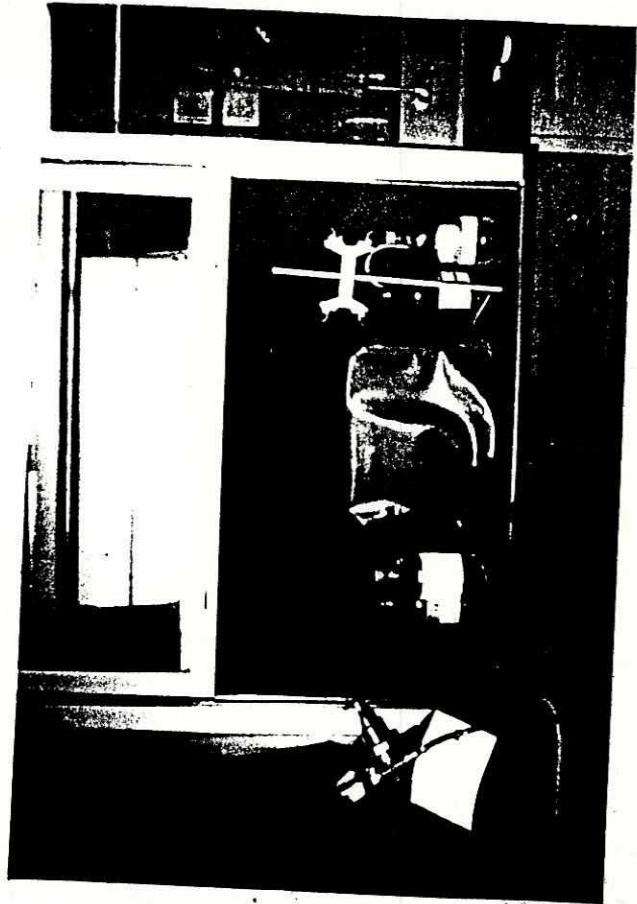


Figura # 6: Mal empleo de las campanas de extracción

Tabla # 1

Velocidades de ingreso promedio y flujo volumétrico
a través de las campanas

Campana	Velocidad de Ingreso (Pies/min)		Flujo Volumétrico (Pies ³ /min)	
	A	B	A	B
1	48.3	53.1	526.0	578.3
2	11.6	20.0	126.3	217.8
3	12.9	21.5	140.5	234.1
4	67.2	80.0	731.8	871.2
5	43.1	62.9	469.4	684.9
6	72.5	----	789.5	----

En la Figura #7 se muestran los efectos de la corrosión en los ductos, ventiladores y en las mismas campanas.

4. Tasa actual de ventilación de los laboratorios

En la siguiente tabla se presentan las velocidades promedio en la succión y los flujos volumétricos de los ventiladores axiales de los diferentes laboratorios, bajo las condiciones habituales de operación, es decir con las puertas abiertas, ventanas semiabiertas y las campanas funcionando. El flujo volumétrico se obtuvo de multiplicar la velocidad promedio en la succión por el área de la misma.

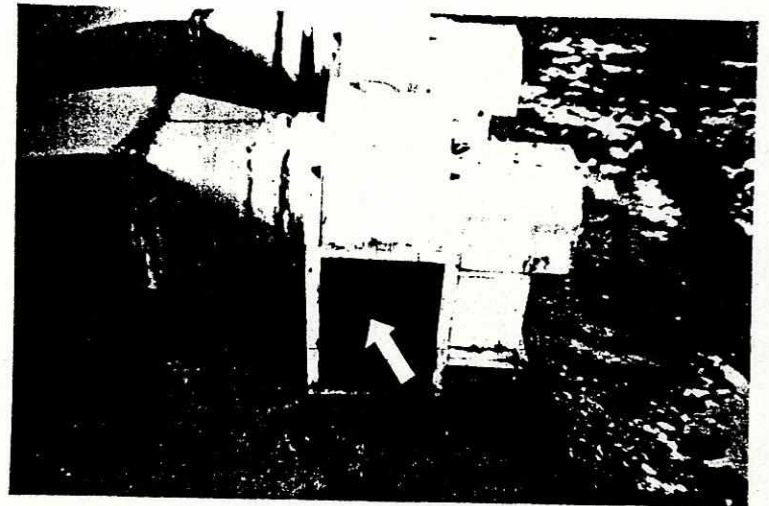
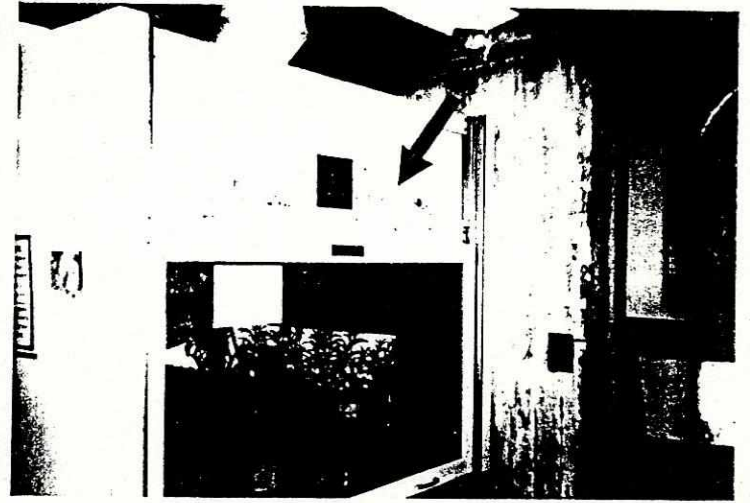
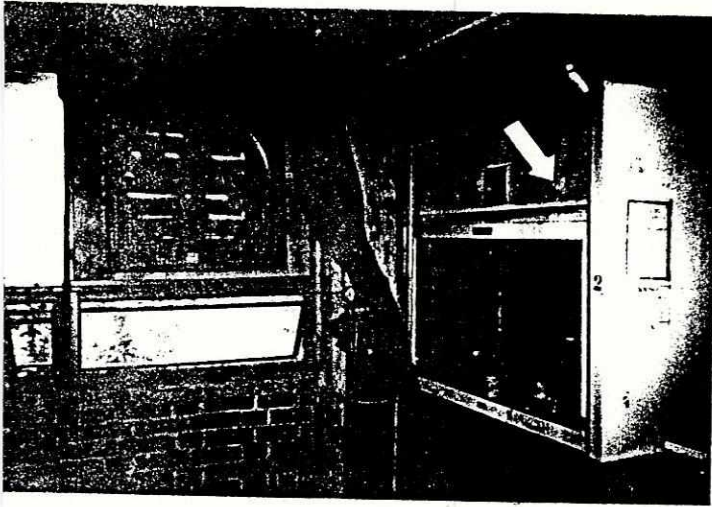


Figura # 7: Corrosión en las campanas, ductos y ventiladores.

Tabla # 2

Velocidades Promedio en la succión y flujos volumétricos
de los ventiladores axiales

Laboratorio	Velocidad promedio (pies/min)	Flujo volumétrico (pies. ³ /min)
Qca. General (C 102)	672	2049
Biol. Anal. (C 107)	720	1230
Fisicoquímica (C 202)	760	2316
Bioquímica (C 204)	735	2240

En la Tabla #3 se presentan las tasas de ventilación de los Laboratorios de Química en cambios por hora (volúmenes de aire equivalentes al tamaño del laboratorio que se expulsan en una hora). El flujo total de aire removido de cada laboratorio se obtuvo de la suma de los flujos de las campanas y de los ventiladores axiales.

Tabla # 3

Tasa actual de ventilación en los laboratorios.

Laboratorio	Volumen (pies ³)	Campanas	Flujo aire (pies ³ /min)	Cambios por hora
Qca. Gener. (C 102)	10340	A1,A2,A3	2841	16
Qca. Organ. (C 105)	6896	A4,A5	1260	11
Bio. Anali. (C 107)	6896	A6	2020	18
Fisicoquím. (C 202)	6896	B1,B2	3112	27
Bioquímica. (C 204)	6896	B3,B4	3392	29
Anal. Inorg. (C 207)	6896	B5	685	6

5. Tasa de ventilación óptima para los laboratorios

La ocupación máxima de los laboratorios, necesaria para determinar la tasa de ventilación adecuada, se obtuvo por medio de reportes de los catedráticos de cada curso y utilizando la aproximación sugerida por la literatura (16) de 30 personas por cada mil pies cuadrados de área de piso.

Tabla # 4
Ocupación máxima de los laboratorios

Laboratorio	Area de piso (pies ²)	Ocupación máxima	
		sugerida	reportada
Qca. General (C-102)	103.36	31	30
Qca. Orgánica (C-105)	689.30	21	21
Bio. Analit (C-107)	689.30	21	12
Fisicoquímica (C-202)	689.30	21	16
Bioquímica (C-204)	689.30	21	16
Anal. Inorg. (C-207)	689.30	21	18

La tasa de ventilación óptima se determinó con base en la cantidad de aire necesaria para diluir el Dióxido de Carbono producido por las personas (ocupación máxima) y por la combustión de los quemadores.

Experimentalmente se determinó que, para una llama óptima de los quemadores, se producen aproximadamente 10.4 g de CO₂ por minuto. El CO₂ generado por las personas se tomó de la

literatura (13) y es de aproximadamente 0.62 g por minuto.

Para el cálculo de la tasa de ventilación se realizó un balance de masa en el que para la concentración de CO₂ en el aire exterior se utilizó un dato típico, 0.03% (13), y para la concentración máxima permitida (ASHRAE, 1980) se usó 1000 ppm (0.05%), nivel que no afecta a una persona normal.

Tabla #5

Tasa de ventilación óptima con base en la generación de CO₂.

Lab	Tomas gas	Producción de CO ₂ (g/min)			Aire dilución (pies ³ /min)	Cambios hora
		personas ocup. máx.	combustión quemadores	total		
C102	21	19.2	217.6	236.8	7930	45
C105 a C207	14	12.9	145.1	160.0	5264	46

6. Balance de aire en los laboratorios

El balance de aire dentro de los laboratorios se estableció por medio de la ecuación:

Aire total ingresado = aire campanas + aire de dilución

Se asumió un 65% de carga en la generación de CO₂ de los quemadores. Los resultados se presentan en la Tabla 4.6.

Tabla # 6

Balance de aire en los laboratorios.

Laboratorio	Flujo volumétrico de aire (pies ³ /min)		
	Total	Campanas	Dilución
C102	8425	3270	5154
C105 a C207	5338	2180	3158

B. Concentración de los exhaustos de las campanas en las descargas y en los corredores del edificio

Como base del análisis se tomaron los reactivos más utilizados de los laboratorios de Química. Para la selección se emplearon las solicitudes de materiales a la Administración del edificio y la guía de las prácticas de cada curso.

La tasa de evaporación se estimó utilizando un modelo de transferencia de masa para flujo laminar, en el cual la tasa de evaporación molar por unidad de área es función del coeficiente de difusividad y la presión de vapor del solvente, la temperatura, la presión absoluta y la altura de la zona de transferencia de masa (14).

Para los cálculos se utilizó 640 mm de Hg como presión absoluta, 30 C de temperatura (promedio de temperaturas

máximas registradas para Guatemala por el INSIVUMEH, Tabla #2 del Apéndice C). El área de la zona de transferencia de masa corresponde al de un beaker de 11 cm de diámetro, y la altura de la zona de transferencia se tomó de 1 cm , es decir para el beaker completamente lleno. En la Figura #8 se presenta un esquema del modelo utilizado.

La concentración de los contaminantes en las descargas de los ventiladores (en el techo) se determinó dividiendo la tasa de evaporación entre el flujo de aire a través de las campanas, cuando operan a una velocidad de ingreso de 100 pies por minuto. En los cálculos se asumió que las dos campanas, que corresponden a un ventilador, contienen los mismos reactivos.

La concentración de los contaminantes en los corredores (en la dirección predominante del viento), se estimó en base a la ecuación de sugerida por ASHRAE (12), en la que la razón de dilución es función de la distancia entre la descarga y el punto que se evalúa, la velocidad de salida del ventilador y la velocidad promedio del viento.

Como velocidad de salida de los exhaustos de los ventiladores se utilizó 1678 pies por minuto, que corresponde a la velocidad de descarga de los ventiladores actuales de las campanas, si estuvieran en buenas condiciones. Para la distancia de las descargas de los ventiladores a los

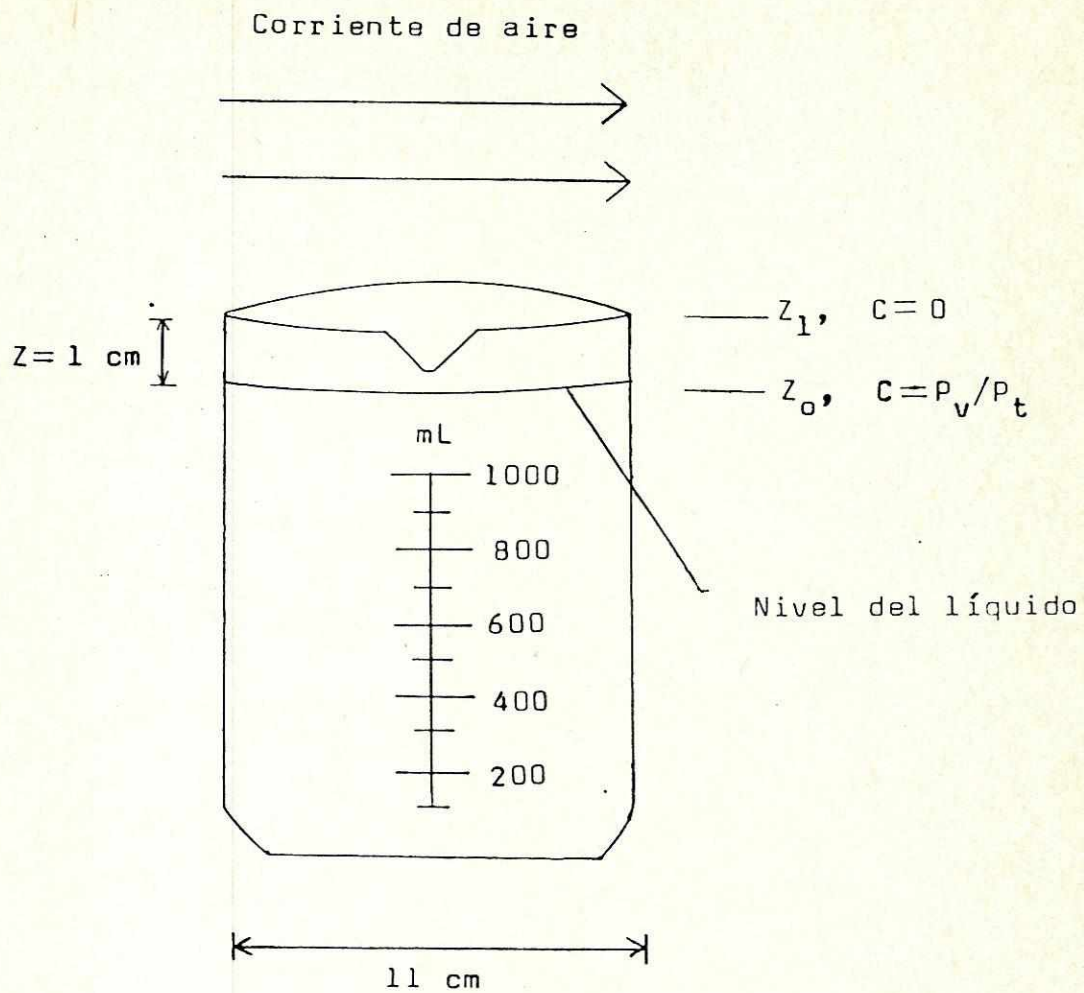


Figura # 8: Modelo utilizado para el cálculo de la tasa de evaporación.

corredores se usó 35 pies . La razón de dilución se evaluó para 503, 679, y 2012 pies por minuto, que son las velocidades promedio mínima, media y máxima respectivamente, registradas por el INSIVUMEH para el Valle de Guatemala (ver Apéndice C).

Los resultados, junto a las concentraciones máximas permitidas en el aire (15) para los diferentes solventes se muestran en las Tablas #7 y #8.

Tabla #7: Concentración de los solventes orgánicos más utilizados en las descargas de las campanas y en los corredores del edificio.

Reactivo	Tasa de evaporación (lb/h)	Concentración (ppm)				
		descarga	corredores		máxima permitida en aire	
			Vmin	Vmed	Vmax	
Acetato Etilo	0.056	5.0	0.23	0.14	0.14	400
Acetonitrilo	0.038	7.0	0.32	0.19	0.07	200
Acetona	0.136	17	0.77	0.47	0.16	1000
Acido Acético	0.003	0.2	0.01	0.01	.002	10
n-Butanol	0.004	0.4	0.02	0.01	.004	100
Benceno	0.055	5.0	0.23	0.14	0.05	10
Cloroformo	0.211	13	0.60	0.36	0.12	10
Cloru. Metileno	0.561	47	2.14	1.31	0.44	500
Ciclohexano	0.053	5.0	0.23	0.14	0.05	300
Dioxano	0.009	1.0	0.05	0.03	0.01	25
Etanol	0.018	3.0	0.11	0.08	0.02	1000
Eter Etilico	1.877	180	8.20	5.0	1.69	400
Etilenglicol	0.001	0.1	.004	.002	.0004	50
Hexano	0.062	5.0	0.23	0.14	0.05	50
Isopropanol	0.002	3.0	0.14	0.08	0.03	400
Metanol	0.057	13	0.60	0.36	0.12	200
Pentano	1.170	116	5.30	3.22	1.09	1000
Tolueno	0.018	1.0	0.05	0.03	0.01	100
Tetraclor. de C.	0.114	5.0	0.23	0.14	0.05	5
Xileno	0.007	0.05	0.02	0.01	.005	200

Tabla # 8

Concentración de los solventes inorgánicos más utilizados en las descargas de las campanas y en los corredores del edificio.

Reactivo	Tasa de evaporación (lb/h)	descarga	Concentración (ppm)			máxima permitida en aire
			Vmin	Vmed	Vmax	
HBr (conc)	0.059	3.0	0.14	0.08	0.03	3
H ₂ CrO ₄ (dil)	0.017	1.0	0.05	0.03	0.01	4
HCl (conc)	0.295	58	2.63	1.60	0.54	5
HF (conc)	0.209	2.0	0.09	0.06	0.02	3
HI (conc)	0.018	1.0	0.05	0.03	0.01	5
HNO ₃ (conc)	0.034	4.0	0.20	0.11	0.04	2
H ₂ SO ₄ (conc)	0.145	13	0.60	0.40	0.12	10
H ₃ PO ₄ (dil)	0.011	1.0	0.05	0.03	0.01	15
NH ₃ (conc)	0.164	69	3.13	1.90	0.65	50
H ₂ O	0.05	1.0	0.05	0.03	0.01	--

V. DISCUSION

A. Distribución del sistema de ventilación

El error principal que se encontró en la distribución del sistema de ventilación fue la ubicación de los ventiladores axiales.

En primer lugar, al expulsar los exhaustos de los laboratorios en contra de la dirección predominante de los vientos, provocan el ingreso de los contaminantes al mismo o a los laboratorios cercanos, es decir que crean un efecto de propagación de los contaminantes por todo el edificio. Esto es particularmente importante para los laboratorios que no tienen ventiladores axiales, en donde la dirección del flujo de aire en el interior es a favor del viento. En este aspecto, la distribución actual del sistema de ventilación viola el principio básico de ventilación de los laboratorios de colocar las descargas de los exhaustos separadas de las tomas de aire de reposición y orientadas con la dirección del viento para evitar la recirculación de contaminantes.

(11)

Además de lo anterior, al estar los ventiladores axiales colocados contiguo a las campanas de extracción, no sólo inducen turbulencia, que disminuye la eficiencia, sino que succionan los vapores que en ella se generan. Este fenómeno puede verse en las Figura # 5.

B. Campanas de extracción

Como se puede ver en la Tabla 4.1, todas las campanas operan por debajo de los 100 pies por minuto de velocidad de ingreso sugerida (11 y 12). Los resultados de las pruebas cualitativas con hielo seco muestran visualmente los efectos de una baja velocidad de ingreso a las campanas. Con excepción de las campanas 4A, 4B y 6A, los gases generados dentro de las campanas se escaparon, máxime si había ventiladores axiales en funcionamiento.

La baja velocidad de ingreso de las campanas se debe a la corrosión y falta de mantenimiento de los ventiladores. En la Figura # 7 se muestran los efectos de la corrosión en los ventiladores, ductos y en las campanas de extracción.

Durante la auditoría a los laboratorios se encontró que, en muchos casos, se están utilizando las campanas para almacenar reactivos, muestras y hasta equipo (Ver Figura # 6). Esto es inconveniente por que los objetos colocados dentro de las campanas crean una resistencia al flujo de aire (caída de presión estática), que disminuye la velocidad de ingreso y de ese modo, la eficiencia de captura.

C. Tasa de ventilación de los laboratorios

Como se puede ver en la Tabla # 3, las tasas de ventilación actuales de los laboratorios de Química están por debajo de las necesarias para el nivel de CO₂ producido por la actividad de las personas y principalmente, por la combustión de los quemadores. Se tomó el CO₂ como base para el cálculo del aire de dilución porque, como se indica en la literatura,(10) cualquier operación que genere vapores tóxicos u odoríficos, debe de efectuarse dentro de la campana de extracción.

Esta deficiencia en la tasa de ventilación es especialmente crítica en el caso de los laboratorios de Química Orgánica, donde en la mayoría de las prácticas, se utiliza el equipo de destilación.

Para efectos de no sobredimensionar el sistema de ventilación, se asumió un 65% de carga en el uso de los quemadores de gas propano. Esto en base a que en los laboratorios más usados (Química General y Química Orgánica) se hacen grupos de 3 o 4 personas, por lo que, según la ocupación máxima reportada en la Tabla # 5, implica el uso de aproximadamente el 50% de las tomas de gas. Además el otro factor limitante son las tomas de agua (como agua de enfriamiento para destilación) que existen a razón de una por cada dos tomas de gas.

D. Modelo de flujo de aire

El modelo de flujo de aire, con la distribución actual, es inadecuado porque como se puede ver en la Figura # 9, presenta muchas zonas aisladas.

E. Generación de contaminantes

Para calcular las concentraciones de los contaminantes en los exhaustos de las campanas se utilizó el modelo de difusión en estado estacionario de un componente volátil (reactivo) a través del aire no difundente (transferencia de masa unidireccional).

A pesar que el flujo de aire dentro de las campanas está bajo régimen turbulento, las paredes del beaker hacen que dentro de él exista una región estacionaria en la cual se desarrolla un gradiente de concentración, que es máximo en la interfase y nulo en la parte superior, donde la corriente de aire arrastra los vapores generados.

Al estimar las concentraciones se tomaron varios factores de seguridad:

1. Se utilizó 30 C, temperatura máxima promedio reportada por el INSIVUMEH (Ver Apéndice C).
2. Se utilizó un centímetro como altura de la zona de transferencia de masa, es decir para un beaker completamente lleno.
3. Como base para el área de transferencia de masa, se utilizó un beaker de 11 centímetros de diámetro, el

cual tiene una capacidad para un litro y es el segundo de mayor tamaño de los usados en los laboratorios.

F. Niveles de contaminación exterior

Como se puede ver en las Tablas # 7 y # 8, las concentraciones de los contaminantes alcanzadas en los exhaustos de las campanas, por la actividad de almacenamiento, para todos los casos están por debajo de los límites permitidos, no así en los niveles de recocimiento de olores (ver Tabla # 1, Apéndice E). Esto, suponiendo que en las dos campanas se almacenan los mismos reactivos simultáneamente, es decir que no se consideró el efecto dilutivo de una campana sobre la otra.

Los niveles de contaminación son bajos porque, si la campana opera correctamente, en ella toma lugar una dilución de los contaminantes. En la actualidad, tanto el efecto dilutivo, como la principal función de las campanas, la captura de la emanaciones, no se realiza satisfactoriamente por la distribución del sistema y por la baja velocidad de ingreso.

ningún sistema de tratamiento de desechos líquidos.

A pesar que una torre de absorción realiza funciones de remoción de partículas y de condensación, en este caso, las dificultades señaladas, implicarían el uso de un equipo de gran tamaño, de alto costo inicial y de mantenimiento, que sólo lograía una remoción parcial de los contaminantes por lo que no se considera una alternativa adecuada.

2. Adsorción

Para esta aplicación se señala al carbón activado como el adsorbente más adecuado (9). Debido a las bajas concentraciones de los exhaustos y a que en el edificio no hay servicio de vapor, el sistema tendría que ser no regenerativo.

En el empleo de un sistema adsorción para el control de la contaminación exterior deben de tomarse en cuenta los siguientes factores:

a) Gran variedad de reactivos: La adsorción de múltiples componentes es de baja eficiencia debido a que los compuestos de alto peso molecular (mayores de 200) , tienden a polimerizar y desplazar a los más livianos (Ver Tabla # 3, Apéndice A). Apesar que el carbón activado es un adsorbente muy general y eficiente para compuestos orgánicos, su uso no se recomienda para la adsorción de contaminantes inorgánicos.

b) Baja concentración: Para los niveles de concentración de los efluentes de las campanas, que en su mayoría son menores de 100 ppm, la eficiencia de remoción con carbón activado es muy baja (menor del 50%) (Ver Figura # 1, Apéndice E).

c) Tratamiento del adsorbente: Una de las variables más importantes que afectan el funcionamiento un adsorbedor es la velocidad de la corriente gaseosa, la que tiene que ser como máximo 100 pies por minuto (9) (Alto tiempo de residencia para adecuada remoción). Esto implica que para un flujo total de 33,000 pies cúbicos por minuto, se requeriría un área transversal de 330 pies cuadrados(o 3 unidades de 100 pies cuadrados, que es el tamaño común) por lo que si se emplea un lecho típico de 18 pulgadas de profundidad, se tendría que utilizar aproximadamente, 450 pies cúbicos (de 9900 a 16000 libras de carbón activado) que deben ser tratados una vez que se alcance el punto de saturación. En el Apéndice E, se presentan los parámetros de diseño para sistemas de adsorción con carbón activado.

La forma más común de desecho , para el carbón activado, es la incineración, la cual debe ser hecha de forma eficiente y completa, porque de modo contrario, se producirían grandes emanaciones de compuestos tóxicos y odoríficos.

Debido a los inconvenientes técnicos señalados y principalmente a que en la actualidad la Universidad no cuenta con un incinerador, esta alternativa no se considera adecuada.

3. Incineración

La posibilidad de implementar un equipo de incineración catalítica, se descarta debido a que, cualquier catalizador sería envenenado por la gran variedad de reactivos empleados, por ejemplo, uno de los catalizadores más utilizados, el de platino, se ve afectado por el contacto con compuestos clorinados.

La oxidación térmica, a pesar de tener la ventaja de ser un método de control general y de no requerir segunda etapa de tratamiento, es excesivamente cara por el uso de combustible auxiliar, que en este caso sería elevado, debido a las bajas concentraciones de los efluentes. Además es de difícil mantenimiento e involucra cierto riesgo por la posibilidad del retorno de la llama y de explosión (sobre todo en caso de derrames, cuando las concentraciones superan el nivel mínimo de explosión).

4. Dilución

Es la alternativa más utilizada para niveles bajos de concentración. La dispersión atmosférica es la última etapa de cualquier otro método de control.

Cuando no existen serias limitaciones topográficas, meteorológicas o impedimentos legales, es la forma más segura y económica de controlar las emisiones de los exhaustos de los laboratorios. (10 y 12)

En este caso, en el que las concentraciones en los exhaustos son inferiores a los niveles máximos permitidos, y en el que los problemas de contaminación tienen su origen en una incorrecta distribución y mal funcionamiento del sistema de ventilación, esta alternativa se considera la más adecuada y es la que a continuación se desarrolla.

VI. DISEÑO Y JUSTIFICACION

A. Distribución del equipo de ventilación

El primer paso en el adecuado diseño de un sistema de ventilación para un edificio de laboratorio, es orientar el flujo de aire en la dirección predominante del viento, para que de este modo se logre una ventilación natural y uniforme y se evite la recirculación de los contaminantes al edificio.

El modelo propuesto, y la comparación con el actual puede observarse en la Figura # 9.

La distribución propuesta presenta las siguientes ventajas sobre la actual:

1. Minimización de zonas aisladas: Con el extractor ubicado a lo largo de la parte frontal superior del laboratorio, se produce un flujo uniforme de aire desde las ventanas hacia el extractor, minimizando las zonas aisladas y produciendo un efecto de barrido sobre todo el laboratorio.

2. No existe interferencia con la operación de las campanas y se elimina la turbulencia introducida por los ventiladores axiales. Con esta distribución se induce un flujo estable y uniforme hacia las campanas.

3. Los exhaustos de los laboratorios son colectados y no expulsados directamente hacia las entradas de aire de otros

laboratorios, como en la actualidad. Con este arreglo, cada laboratorio queda aislado, desde el punto de vista de ventilación, del resto del edificio y se elimina completamente el problema de recirculación de los contaminantes.

Debe de observarse que para el óptimo funcionamiento del sistema propuesto , las ventanas (norte) de los laboratorios deben de mantenerse abiertas (con malla protectora) para el ingreso del aire. Del mismo modo, las puertas deben de permanecer cerradas para evitar fugas del aire exhausto de ventilación y facilitar la operación de los extractores.

B. Control de la contaminación exterior

El diseño propuesto consiste en un sólo ducto principal que conduce los exhaustos de los laboratorios a una chimenea. A él convergen los ductos de los extractores y los de las campanas. De este modo el sistema consigue tres procesos de dilución; en la campana, en el ducto y finalmente en la chimenea. La dilución en el ducto principal se debe a que, si las prácticas están bien orientadas, los exhaustos de los extractores no deben contener más contaminantes que los productos inocuos de la combustión de los quemadores.

Las ventajas de este sistema sobre los de sorción o incineración son:

1. Bajo costo de inversión inicial.
2. Mínimo mantenimiento (sólo ventiladores).
3. No requiere etapa posterior de tratamiento.
4. Seguro y efectivo.

En las Figuras # 10 y # 11 se ilustra el sistema propuesto.

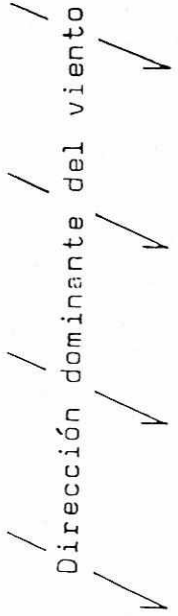
C. Criterios de diseño y dimensionamiento

1. Ductos de Ventilación

Para no producir daños a la estructura del edificio, se decidió que los ductos de los extractores deben de introducirse a través de las ventanas Norte. En la Figura # 12 se muestra el perfil para un ducto ubicado en el primer nivel.

Las dimensiones de los ductos se determinaron con base en flujo total de aire indicado por la tasa de ventilación para cada laboratorio (Ver Tabla #6 de Resultados).

Para el ducto del laboratorio de Química General, el cual debe manejar 5000 pies cúbicos por minuto, se tomó como velocidad de diseño 3000 pies por minuto, máxima velocidad sugerida (16) para volúmenes de 3000 a 6000 pies cúbicos por minuto. Se diseñó como un sistema de alta velocidad con el propósito de ocupar el menor espacio posible. El área del


 Dirección dominante del viento ✓

NORTE 

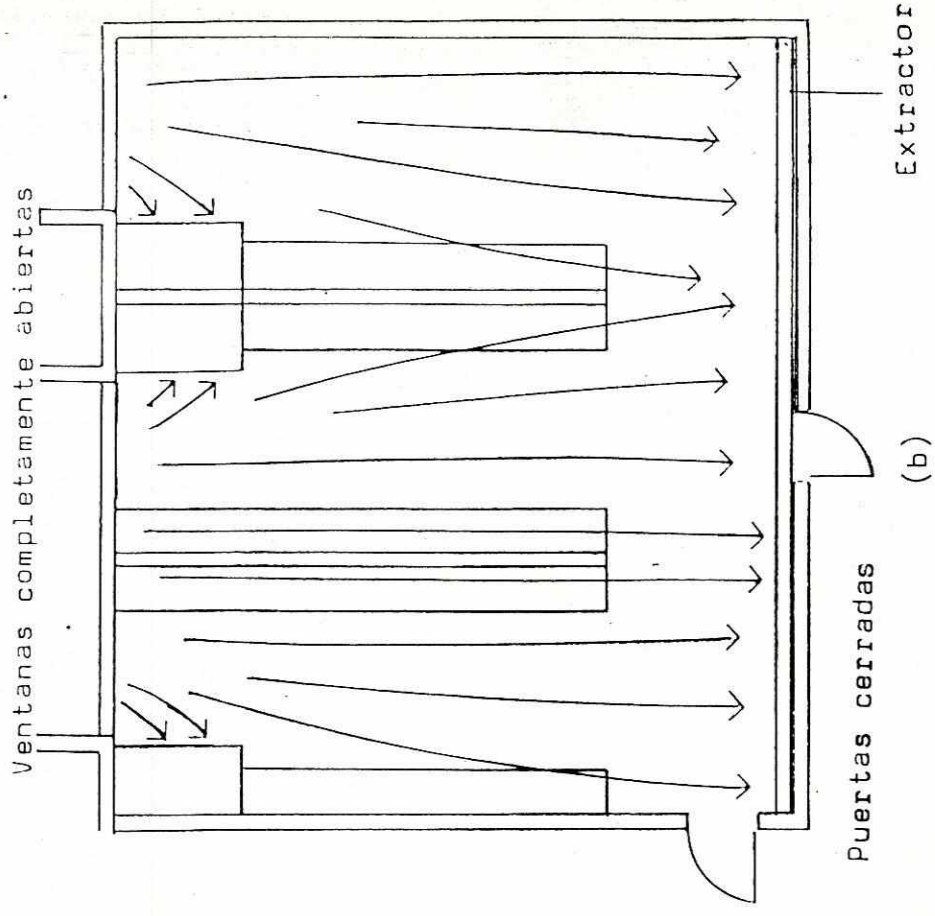
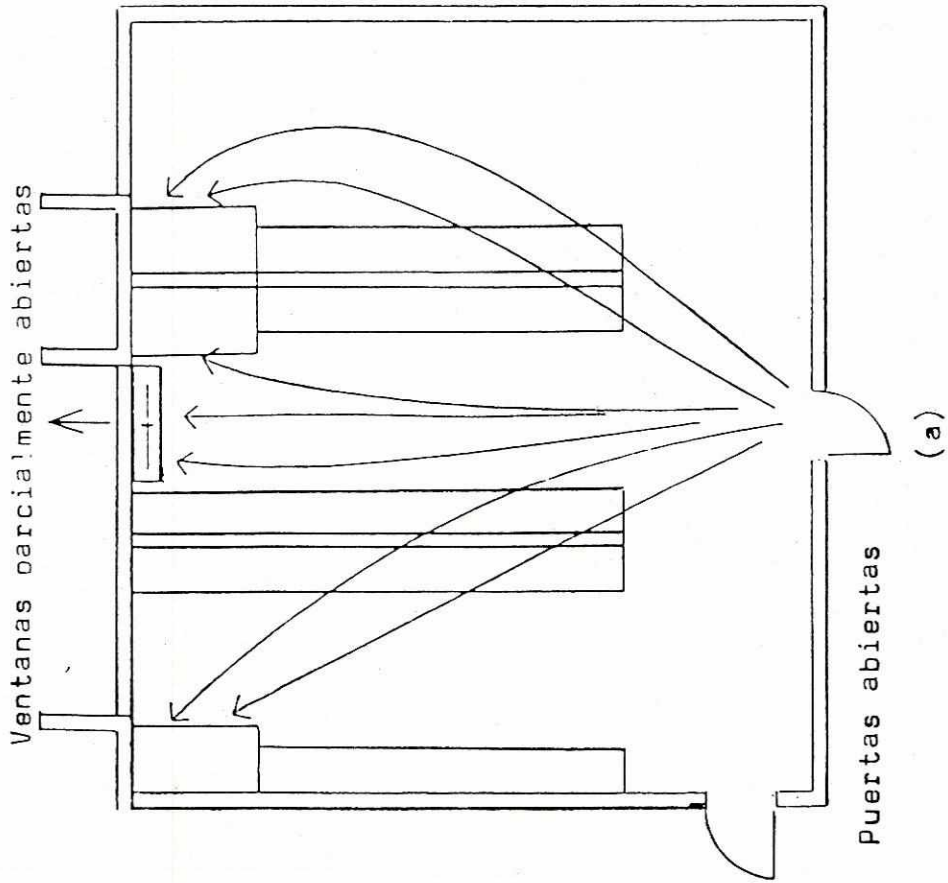


Figura # 9: Modelo de flujo de aire en los laboratorios
 (a) Actual (b) Propuesto

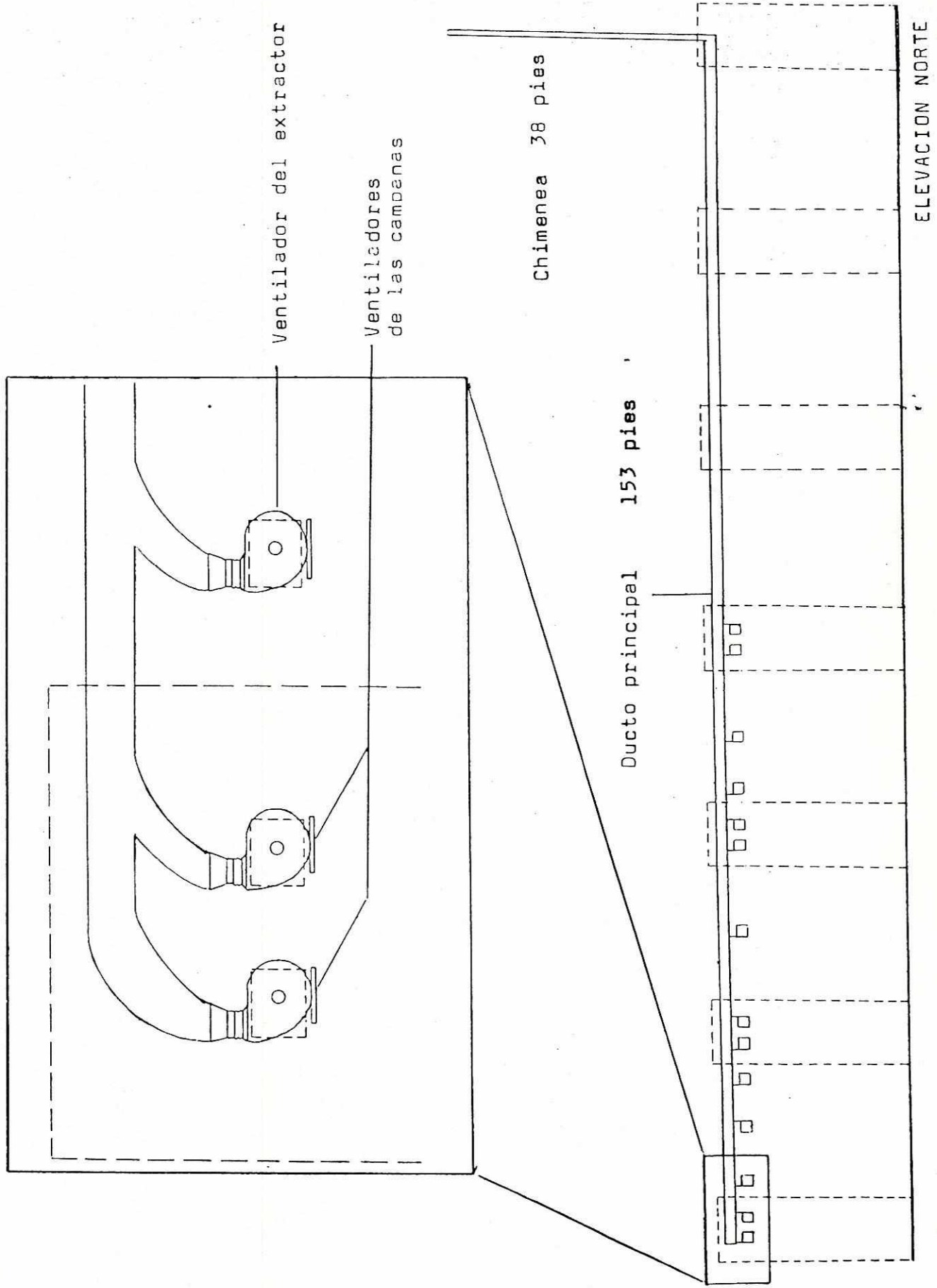


Figura # 10: Sistema propuesto para el control de la contaminación exterior

NORTE

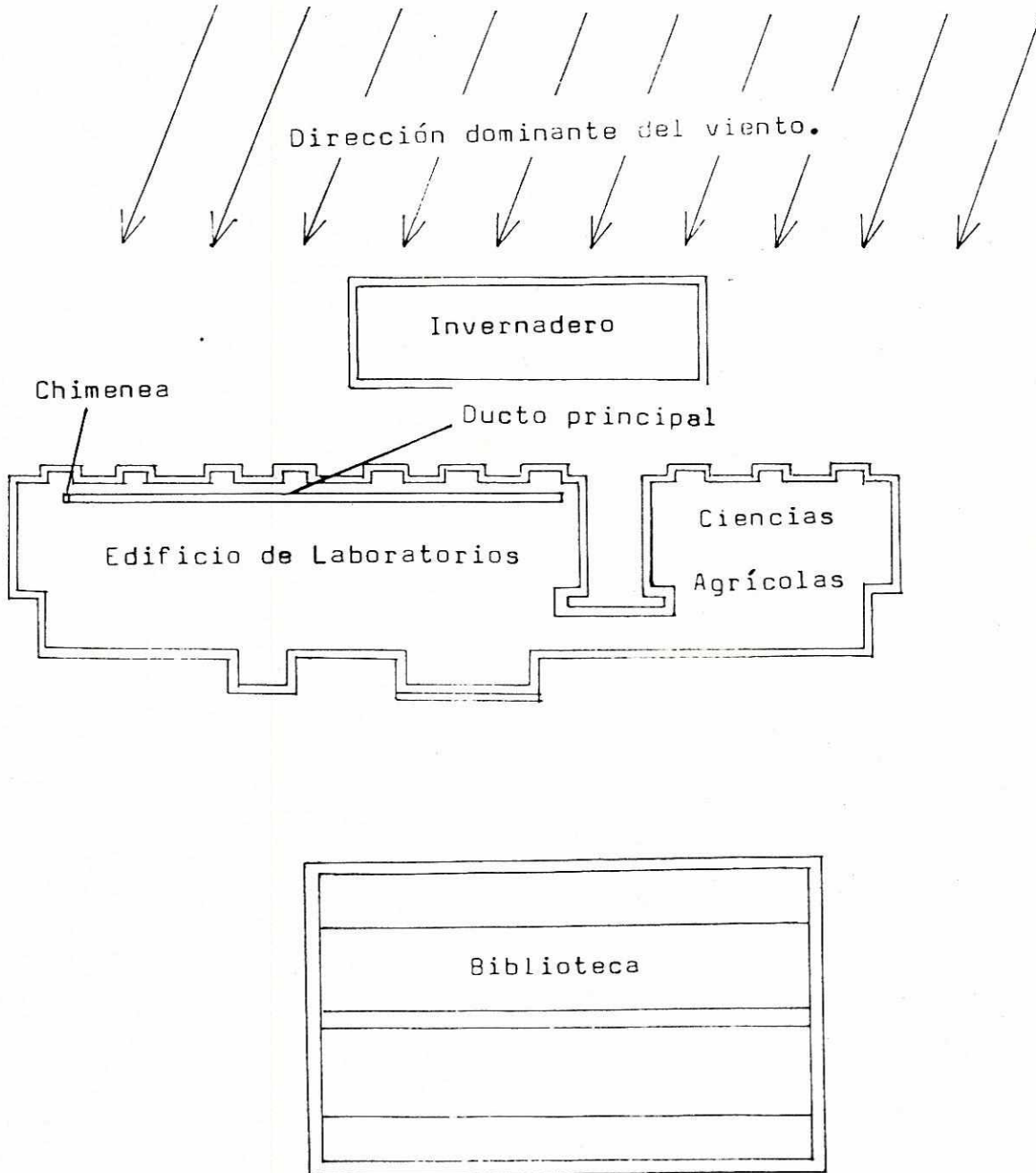


Figura # 11: Ubicación de la chimenea en el edificio de laboratorios.

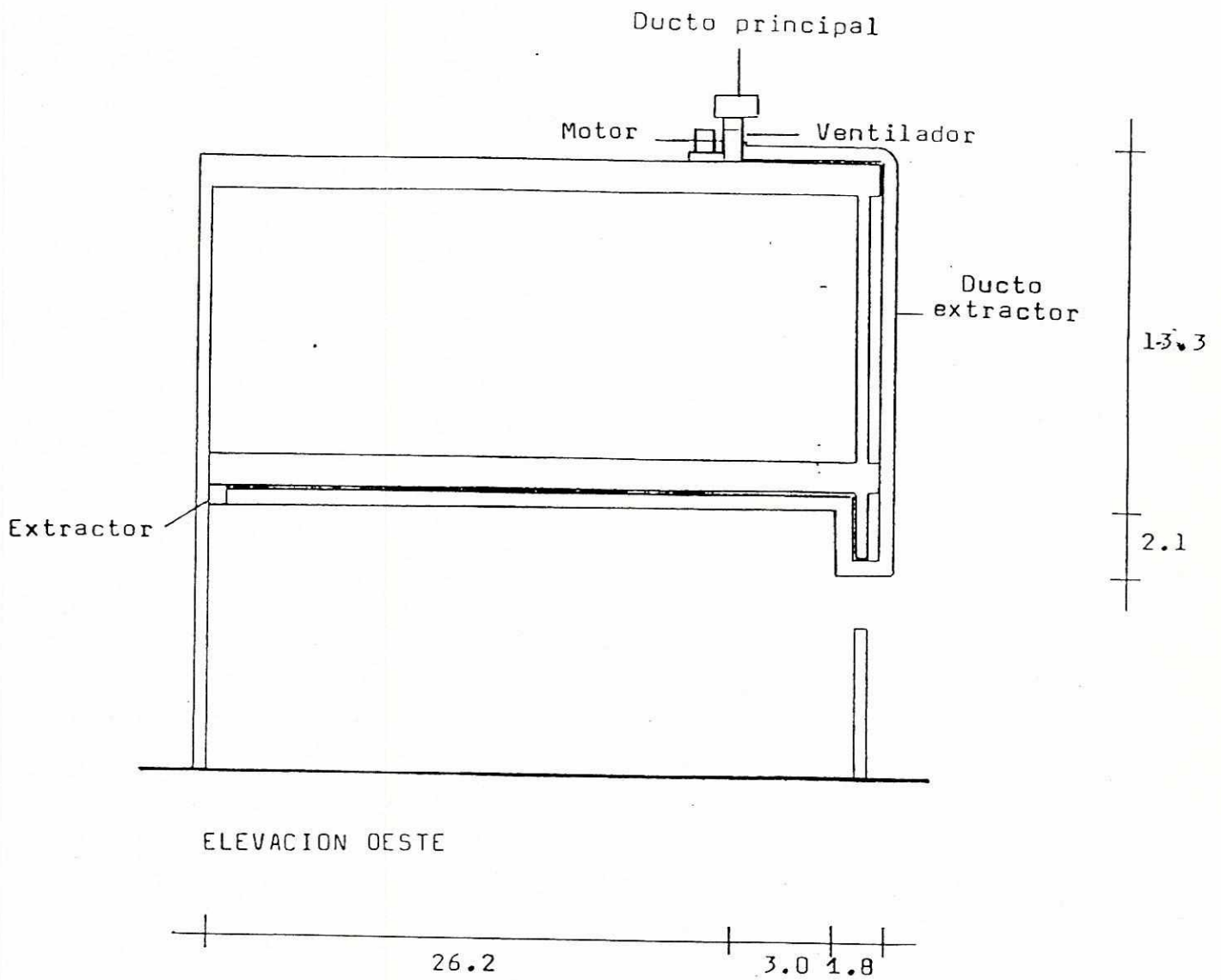


Figura # 12: Perfil del ducto extractor del primer piso

ducto resultó de 1.7 pies cuadrados, que corresponde a 9 pulgadas de altura y 34 de ancho o a un diámetro circular de 1.5 pies. La relación altura-ancho (H/W), tiene un valor de 0.26 que es mayor que 0.125, mínimo sugerido por la literatura. (16) Como el tamaño de la ventana es 3.28 * 3.6 pies, no existe impedimento para introducir los ductos a través de las ventanas.

Para el resto de los ductos, que deben manejar 3000 pies cúbicos por minuto, se recomienda una máxima velocidad de diseño de 2500 pies por minuto. Para propósitos de uniformar la construcción de todos los ductos, las dimensiones de estos se tomaron iguales al anterior, es decir de 9 * 34 pulgadas, lo que corresponde a una velocidad lineal de 1700 pies por minuto.

Debe de hacerse notar que los cálculos desarrollados rigen tanto para ductos rectangulares como circulares . Por lo tanto, la decisión de qué tipo utilizar dependerá de la disponibilidad y el costo del material y queda a criterio del responsable de la construcción del sistema.

2. Diseño de los Extractores de los Laboratorios

El principal parámetro de diseño para un extractor de tipo captor es la velocidad de ingreso o de captura, la cual varía desde 50 a 2000 pies por minuto, (17)

En este caso, donde no se están captando vapores tóxicos directamente desde una fuente de emisión, sino simplemente se trata de proveer una adecuada ventilación y un flujo uniforme, se asumió una velocidad de ingreso de 1000 pies por minuto.

La longitud del extractor vino dado por el ancho del laboratorio, que en el caso de Química General es de aproximadamente 30 pies. El área abierta del extractor se encontró dividiendo el flujo total (5000 pies por minuto) entre de la velocidad de ingreso, lo que resultó en 5 pies cuadrados, que para un largo de 30 pies, significó una abertura de 2 pulgadas (W Figura # 13).

El volúmen de control (volúmen del extractor), más que por parámetros de diseño se definió por limitaciones de espacio. La altura máxima que puede tener el extractor (H), es de 1.5 pies y se determinó por la altura total del laboratorio menos la altura de la puerta y la del codo que une el ducto al extractor.

Para el diseño de los demás extractores se utilizaron los mismo criterios. En este caso la longitud es de 20 pies y la abertura total de 3 pies cuadrados (rendija de 2 pulgadas).

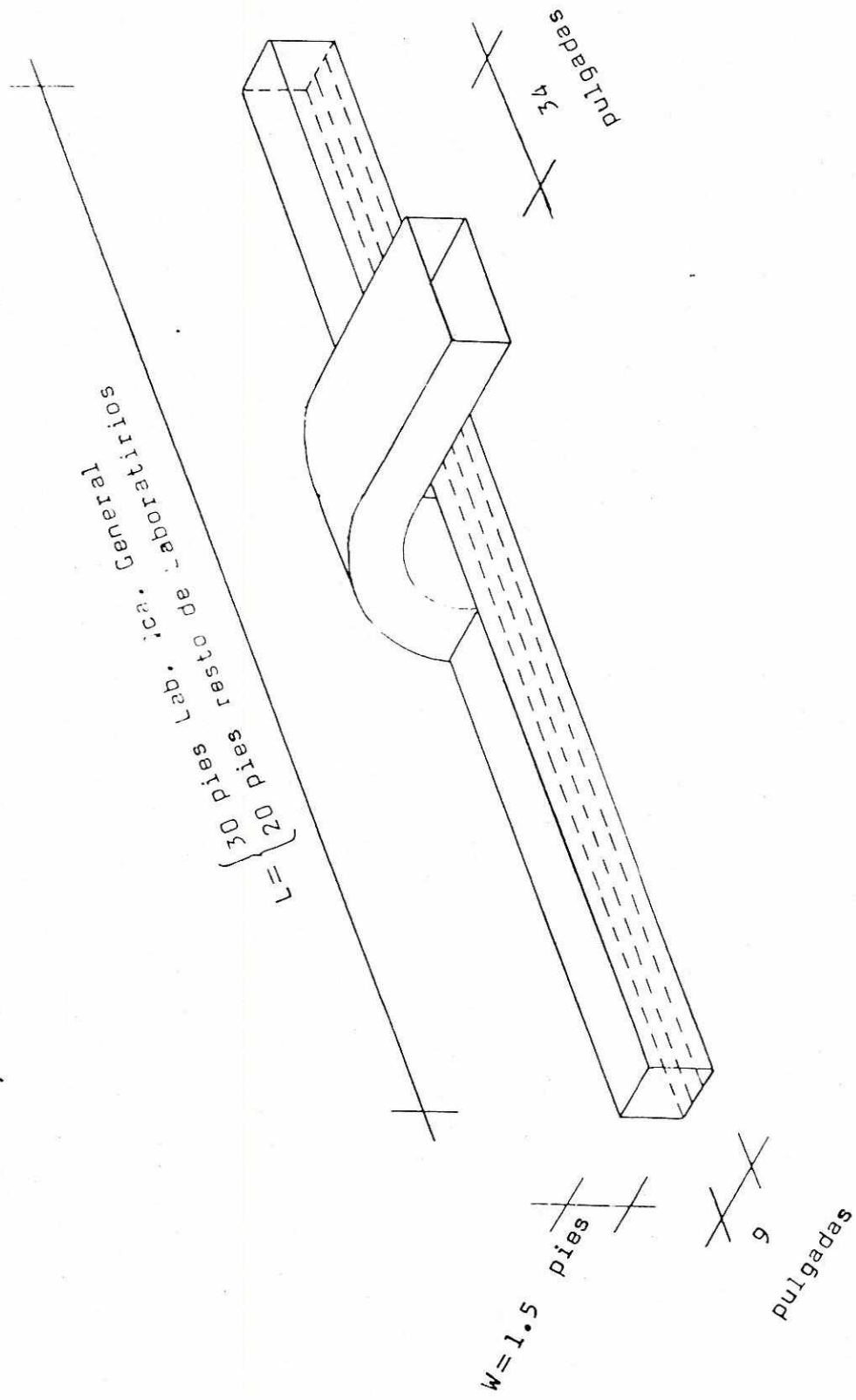


Figura # 13: Modelo de los extractores de los laboratorios

3. Ducto Principal

El dimensionamiento del ducto principal se hizo en base a la capacidad total del sistema, es decir 16 campanas de 1090 pies cúbicos por minuto cada una, un extractor de 5000 pies cúbicos por minuto y los cuatro ventiladores de 3000 pies cúbicos por minuto para los demás laboratorios de Química, esto dio un flujo total de 33000 pies cúbicos por minuto. La velocidad máxima sugerida es 5000 pies por minuto (ver Tabla # 3, Apéndice E). Pero considerando las posibles ampliaciones del sistema y para no provocar demasiada caída de presión, se asumió una velocidad de diseño de 4000 pies por minuto, lo que dio un diámetro de 3.24 pies, que para un ducto rectangular con una relación H/W igual a 0.7 resultó en una altura de 30 pulgadas y 42 pulgadas de ancho ($H/W > 0.125$, mínimo recomendado). (16)

Para determinar la longitud del ducto, (ubicación de la chimenea), se tomó en cuenta la dirección predominante de los vientos (Nor-Noreste), la chimenea debe estar localizada, como mínimo, en las descargas de las campanas # 8, (ver figura #1 de Resultados) para evitar el efecto de la cavitación producida por los vientos en el edificio de la Biblioteca.

Por seguridad, la chimenea se colocó en el extremo Noroeste del edificio (ver figura # 12), lo que significa una longitud total del ducto de 153 pies.

4. Diseño de la Chimenea

La altura de la chimenea, dado el hecho de que las concentraciones de los exhaustos de las campanas están por debajo de los niveles permitidos, vino determinada por la altura del edificio de la Biblioteca.

Se recomienda (9) que la altura de la chimenea sea 2.5 veces la altura del edificio más cercano, por lo que, en este caso debe de ser de 54.12 pies, pero tomando en cuenta la altura del edificio de laboratorios, con respecto al nivel de referencia de la biblioteca, la altura de la chimenea sobre el techo del edificio de laboratorios tiene que ser de 38 pies.

El diámetro de la chimenea se estableció considerándola como parte del ducto principal de ventilación, es decir que se trató de no provocar demasiada caída de presión estática para alcanzar una pluma elevada. Como los laboratorios de mayor uso son los de Química General y Química Orgánica, se tomaron como base para establecer el diámetro. Juntos, los dos laboratorios tienen en flujo de 18900 pies cúbicos por minuto para el cual la velocidad máxima sugerida (Tabla

3, Apéndice E) es de 4500 pies por minuto, lo que implica un diámetro de aproximadamente 2 pies.

Las concentraciones esperadas a nivel del suelo se estimaron por medio del Modelo de Dispersión Gaussiana, según el cual, las concentraciones máximas, en la dirección dominante del viento, son función de la distancia, la velocidad del viento, la tasa de emisión de los contaminantes y la altura de la chimenea.

Los resultados se muestran en la Tabla # 9, y para todos los casos las concentraciones resultaron estar por debajo de los límites permitidos y del nivel de reconocimiento de olores (ver Tabla # 1, Apéndice E).

En la estimación de las concentraciones al nivel del suelo se despreció la altura de la pluma de la chimenea y el efecto de dilución de los ventiladores de los extractores de los laboratorios. Los cálculos se hicieron en base a la velocidad promedio de los vientos, para la cual la concentración máxima ocurre a una distancia de 85 metros.

Tabla # 9
Concentraciones máximas al nivel del suelo

Reactivo	Concentración (ppm)	Reactivo	Concentración (ppm)
ORGANICOS			
Acetronitrilo	3 E -5	Acet Etilo	0.0005
Hexano	5 E -5	Acetona	0.0001
Isopropanol	2 E -6	A.Acetico	3 E -6.
Metanol	5 E -5	N-butanol	3 E -6
Pentano	0.0010	Benceno	5 E -5
Tolueno	2 E -5	Cloroformo	0.0002
CCl4	0.0001	Dioxano	8 E -6
Clor.metileno	0.0005	Etanol	2 E -5
Ciclohexano	4 E -5	Eter	0.0020
Etilenglicol	9 E -7	Xileno	6 E -6
INORGANICOS			
HBr	5 E -5	H3PO4	1 E -5
H2CrO4	1 E -5	H2SO4	1 E -4
HCl	3 E -4	NH3	1 E -4
HF	2 E -4	HI	2 E -5
HNO3	3 E -5		

4. Dimensionamiento de los ventiladores

Para dimensionar los ventiladores se calculó (Apéndice D) la caída de presión estática en la succión y descarga de cada ducto, utilizando las ecuaciones convencionales de flujo de fluidos.

La potencia que se debe suministrar al aire se determinó por medio de:

$$HP \text{ aire} = (144 * 0.0361) Q_h / 33,000$$

Q = flujo volumétrico, pie³/min.

H = Aumento de la presión estática, pulgadas de H₂O

Para la potencia total requerida se asumió una eficiencia mecánica (motor y ventilador) del 50 % Los resultados se muestran en la Tabla # 10.

Tabla # 10
Potencia de los ventiladores

Ventilador	Q (pies ³ /min)	H (pulg.H ₂ O)	HP
Extractor de Qca. General	5000	2.5	4
Resto de Extractores	3000	1.2	1.5
Campanas	2180	3.2	2

D. Materiales de construcción

El material de construcción debe de ser resistente tanto a la corrosión producida por los diversos gases y vapores de las campanas como a la intemperie.

A pesar que algunos materiales termoplásticos son resistentes a gran parte de los reactivos empleados en los laboratorios, por su baja resistencia mecánica, distorsión con el calor, inflamabilidad y alto costo de fabricación resultan inadecuados como únicos materiales de construcción.

Opcionalmente podrían ser utilizados en las partes del sistema que no estén expuestas a la intemperie.

Por lo anterior, se selecciona el acero ferrítico de uso general (ss 430) para la construcción de los ventiladores, ductos y la chimenea.

Este metal presenta las siguientes ventajas:

1. Resistente a la corrosión por cloruros (al contener 17 % de cromo) (18).
2. Es dúctil.
3. Alta resistencia mecánica.

Nota: en vista de que en el mercado local es difícil de obtener el acero ferrítico de uso general, alternativamente se podría emplear el acero inoxidable 304 ó 316 como material de construcción pero se debe tener la precaución de controlar el uso de compuestos clorinados en las campanas de extracción y de determinar el espesor de las láminas, en base a un estimado de la tasa de corrosión.

VII. CONCLUSIONES

A. La distribución del sistema de ventilación de los laboratorios de Química es inadecuado por:

1. Expulsar los exhaustos en contra de la dirección dominante del viento y producir la recirculación de los contaminantes

2. Los ventiladores axiales interfieren con la operación de las campanas de extracción.

3. Producir un modelo de flujo de aire con muchas zonas aisladas.

B. La tasa actual de ventilación de los laboratorios es inadecuada para las actividades que allí se realizan.

C. Los problemas de contaminación del aire que han sido reportados se deben a una inadecuada distribución, mal empleo y funcionamiento del sistema de ventilación.

D. El método más adecuado para tratar los efluentes gaseosos de los laboratorios de Química es la dilución.

VIII. SUGERENCIAS

A. Con base en los resultados de este trabajo, se recomienda implementar el sistema propuesto a la menor brevedad y de esta manera evitar la inversión innecesaria en el sistema actual de ventilación.

B. Utilizar el método de dilución (dispersión atmosférica) para tratar los efluentes gaseosos de los laboratorios de Química

C. En vista que el costo del proyecto depende, en gran medida, del material de construcción que se seleccione, se recomienda una posterior evaluación de alternativas y la asesoría de un experto para la definición de este aspecto.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Perkins, H.C. Air Pollution . New York, Mc Graw Hill.
1974 407 pp.
2. Corbitt, R.A. Standard Handbook of Enviromental Engineering. New York, Mc Graw Hill.
1990
3. Bethea, R.M. Air Pllution Control Technology, an Engineering Analisi Point of View . New York, Van Nostrand Reinhold Co. 449 pp.
1978
4. Mc Innes, R. Cuting Toxic Organics . Chemical Engineering (USA); Sep.
1990
5. Cheremisinoff, P.N. Encyclopedia of Enviromental Control Technology. Volume II. Air Pollution Control . Houston, Gulf Publishing Co.
1989 1066 pp.
6. Theodore, L., Bounicore, A.J. Air Pollution Control Equipment. Volume II. Gases. Florida, CRS Press Inc. 149 pp.
1988
7. Strauss, W. Air Pollution Control, Part II. New York, John Wiley & Sons Inc. 300 pp.
1972
8. Sax. N.I., Lewis, R.J. Dangerous Properties Of Industrials Materials. 7 ed. New York, Van Nostrand Reinhold.
1989 1707 pp.
9. Cheremisinoff, P.N., Young, R.A. Air Pollution Control & Design Handbook. Volume I. New York, Marcel Dekker.
1977
10. Mahn, W.J. Fundamentals Of Laboratory Safety. Physical Hazards in the Academic Laboratory. New York, Van Nostrand Reinhold. 190 pp.
1991
11. Dahan, F.W. HVAC Systems For Chemical and Biochemical Laboratories. Heating/Piping & Air Conditioning (USA); May.
1986

12. American Society of Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers Inc. Ventilation. Applications. 1974. New York.
13. Wadden, R.A., Sheff, A. Contaminación del Aire en Interiores. México., Editorial LIMUSA. 257 pp. 1987
14. Treybal, R.E. Operaciones de Transferencia de Masa. 2.ed. México, Mc Graw Hill. 858 pp. 1988
15. Robert, E.L. The Sigma Aldrich Library Of Chemical Safety Data. Edition II. USA; The Sigma Aldrich Co. 2160 pp. 1988
16. ASHRAE. Ventilation. Handbook of Fundamentals. 1972
17. Goodfellow, H.D. Hood Design for Ventilation Systems. Heating/ Piping & Air Conditioning. (USA); Feb. 1987
18. De Clerk, D., Patarcy, J. Materials Of Construction . Chemical Engineering. (USA); Nov. 24. 1986

APENDICE A

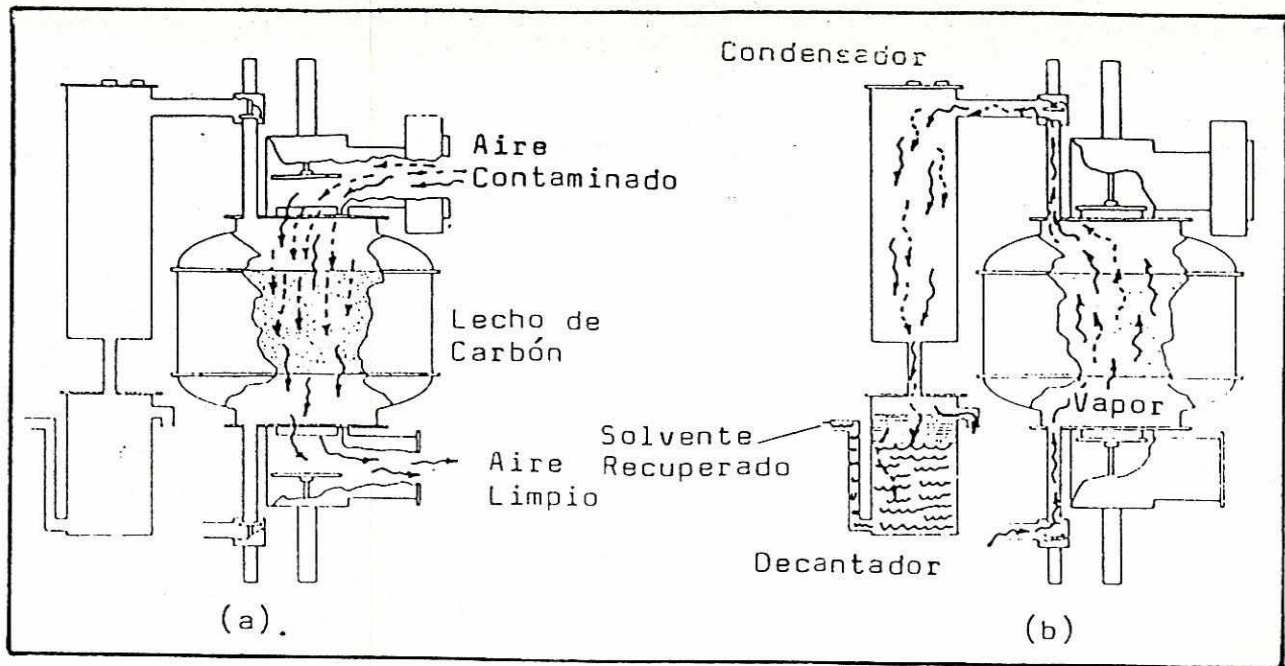


Figura # 1: Operación de una Unidad Típica de Adsorción con Carbón Activado
 (a) Ciclo de Adsorción (b) Ciclo de Desorción

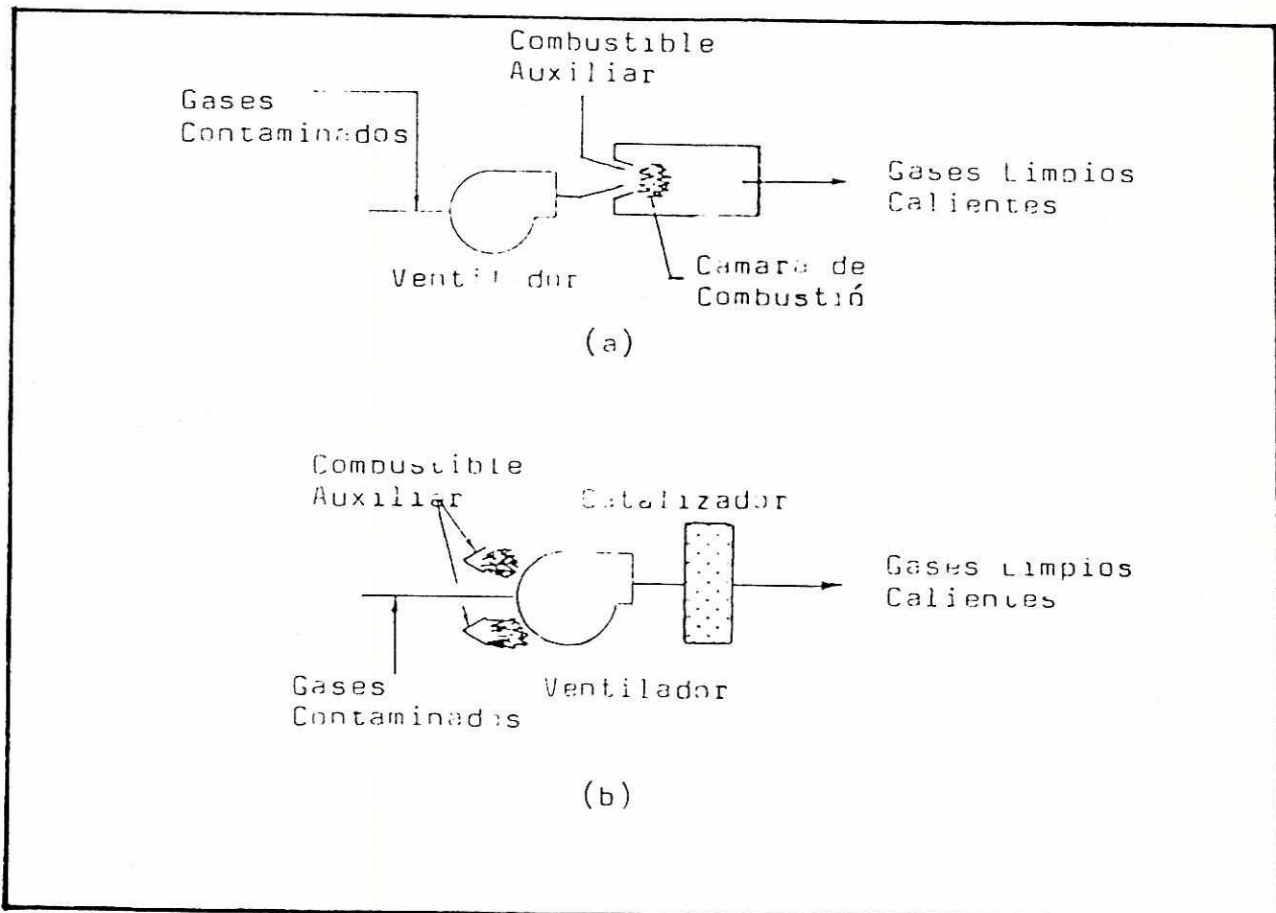


Figura # 2: Sistemas de Incineración
 (a) Térmico (b) Catalítico

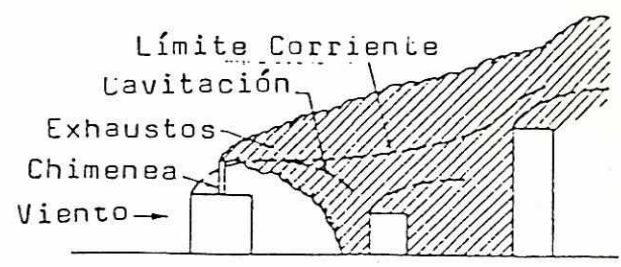
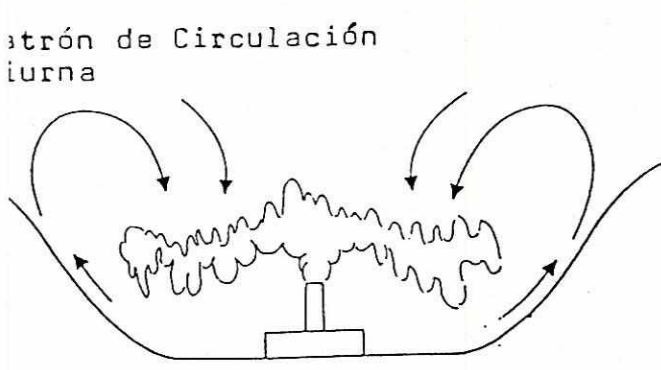
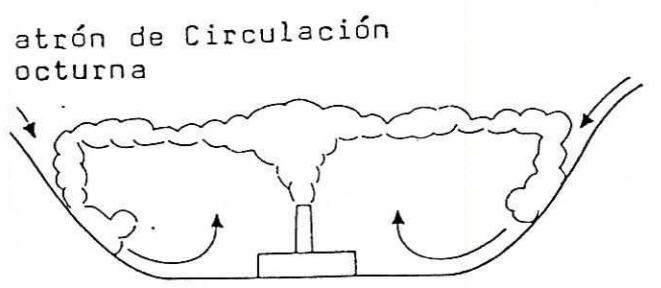
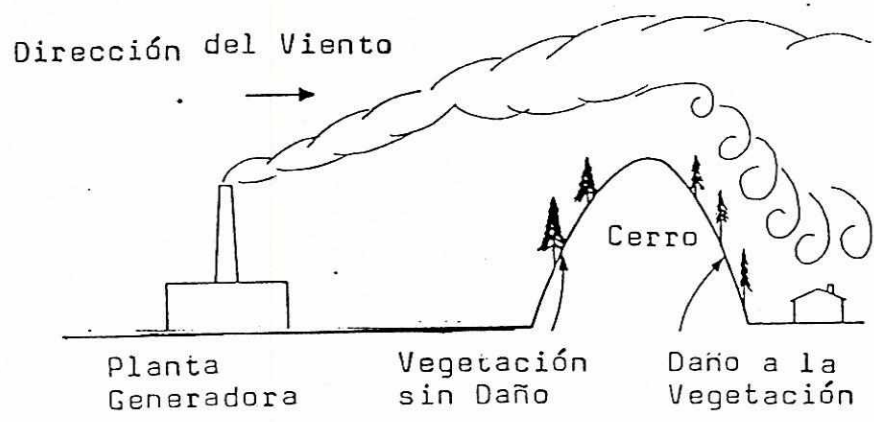
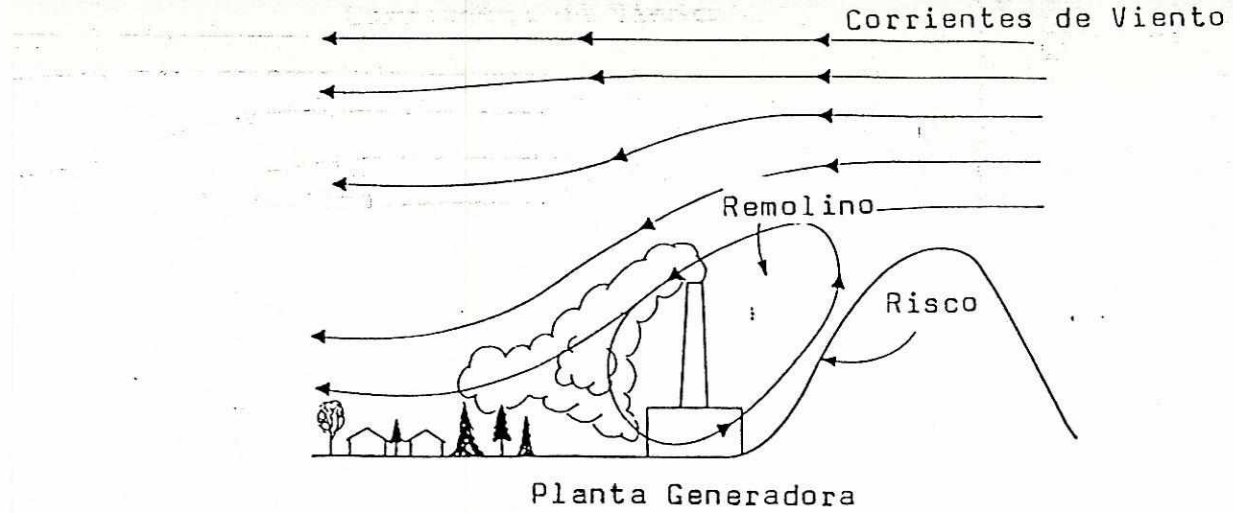


Figura # 3: Efectos de los Cerros, Valles y Estructuras Sobre la Dispersión Atmosférica

Tabla#1: Categorización de Contaminantes Prioritarios (9).

<u>Orgánicos Volátiles</u>	
acroleína	fluoreno
acrilonitrilo	hexaclorobenceno
benceno	hexaclorobutadieno
éter clorometílico	hexaclorociclo pentadieno
bromoformo	hexacloroetano
tetracloruro de carbono	naftaleno
clorobenceno	nitrbenzeno
clorodibromometano	pentatreno
pentaclorofenol	pireno
diclorobromometano	
1,2 dicloroetano	<u>Pesticidas</u>
1,1 dicloroetano	aldrin
1,2 dicloropropano	alfa-BHC
etilbenceno	beta- BHC
bromuro de metilo	gamma- BHC
cloruro de metilo	delta- BHC
cloruro de metileno	clordano
tetracloroetileno	4,4'-DDD
tolueno	4,4', cloroetano
tricloroetileno	deidrin
cloruro de vinilo	
	endrin
<u>Orgánicos Extraíbles con Acido</u>	toxafeno
2 clorofenol	<u>Metales</u>
2,4 diclorofenol	antimonio
2,4 dimetilfenol	arsénico
2 nitrofenol	berilio
4 nitrofenol	romo
	cobre
<u>Orgánicos Neutrales y Básicos</u>	plomo
antraceno	mercurio
bencidina	níquel
benzo-antraceno	selenio
benzopireno	plata
1,2 diclorobenceno	talio
1,4 diclorobenceno	zinc
2,4 dinitrotolueno	<u>Cianuros</u>
ftalato de dimetilo	<u>Asbestos</u>

Tabla #2: Ejemplos de Adsorbentes.(9)

Adsorbente	Forma Disponible	Aplicación
Carbón Activado	Pellets	Compuestos Orgánicos e Hidrocarburos
	Gránulos	
Gel de Sílica	Gránulos	H ₂ S, SO ₂ , H ₂ O Moléculas de Hidrocarburos
	Esferoides	
Alúmina Activada	Gránulos	Vapores de Aceites H ₂ O, H ₂ S
	Esferoides	
Tamices Moleculares	Pellets	Moléculas de hasta 10 A de Tamaño
	Gránulos	
	Esferoides	

Tabla #3: Compuestos que Deben Evitarse en la Adsorción con Carbón Activado.(9)

Reactivos	De Alto Punto de ebullición
Acidos Orgánicos Aldehidos Cetonas Monómeros	Resinas Hidrocarburos de cadenas largas Fenoles Glicoles Aminas

APENDICE B

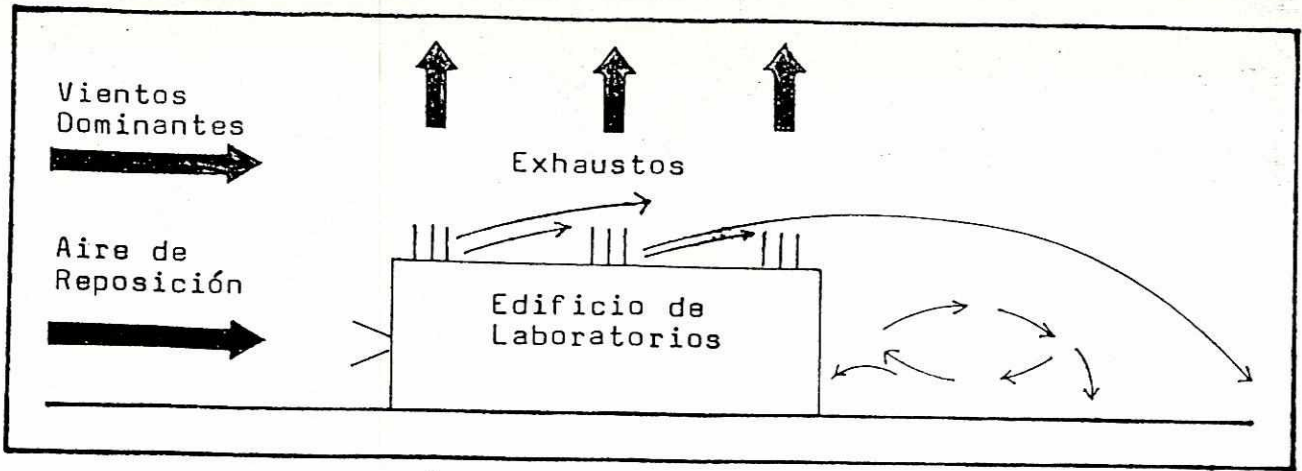


Figura # 1: Orientación del Edificio de Laboratorios con Respecto a los Vientos Dominantes

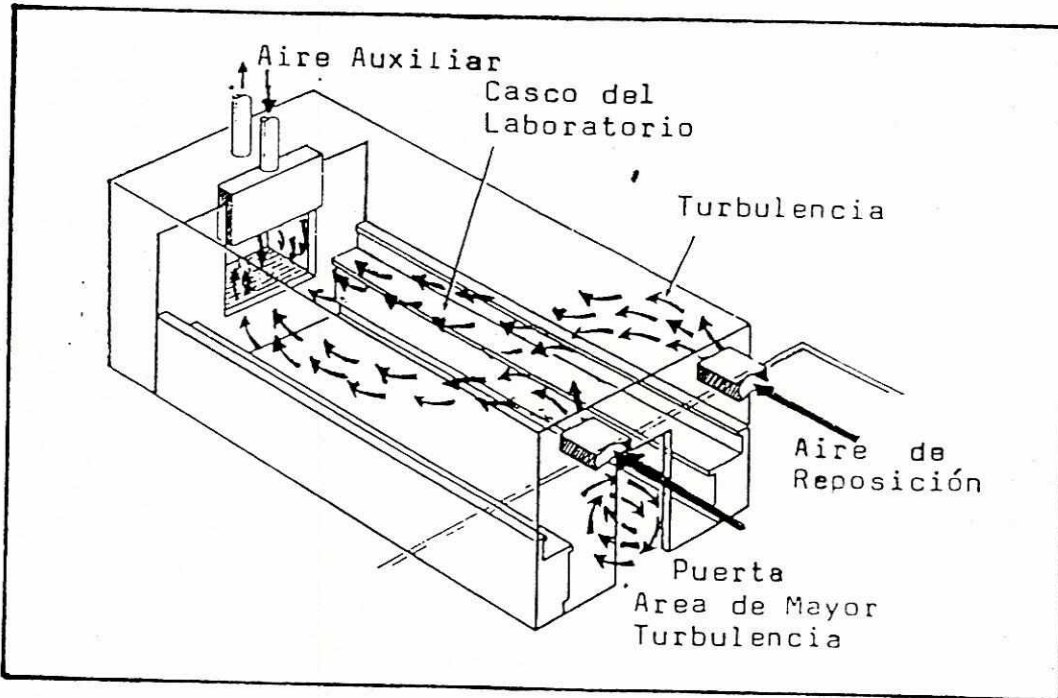


Figura # 2: Arreglo Optimo del Equipo de Ventilación para un Laboratorio

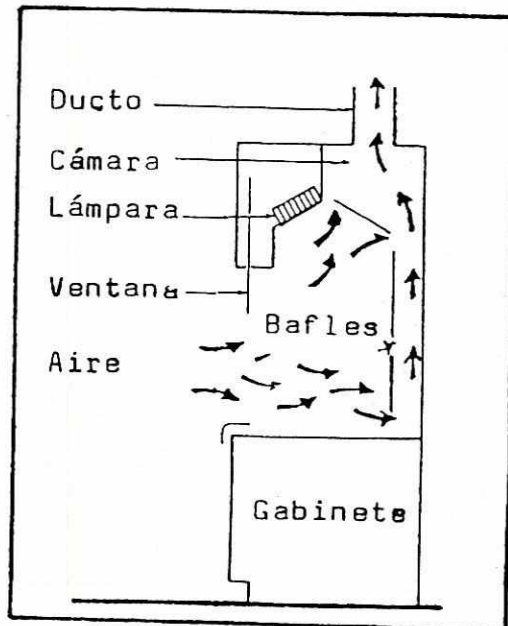


Figura # 3: Campana de Uso General

APENDICE C

DEPARTAMENTO GUATEMALA MUNICIPIO GUATEMALA CORREO
 PROPIEDAD DE DATOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO
SEPTIEMBRE POR HORA (km/h) FECHA EN QUE INICIO OPERACIONES ENERO DE 1928
 OBSERVACIONES Velocidad Media del Viento

NO.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1928	15.1	15.1	13.2	14.3	10.1	11.4	13.3	10.2	09.7	12.9	13.9	17.9	12.9
1929	14.5	16.9	12.5	14.6	09.6	09.8	10.8	10.7	09.2	10.6	14.5	12.3	12.2
1930	13.0	13.8	12.2	10.6	09.7	9.5	14.5	15.2	10.4	12.9	15.1	13.7	12.5
1931	15.0	12.4	13.4	12.1	10.6	7.6	13.4	12.3	09.5	12.7	10.0	13.2	12.8
1932	15.2	13.9	18.9	11.4	09.0	9.1	10.2	11.4	08.5	11.9	14.5	17.5	12.6
1933	13.8	15.9	14.8	12.1	09.2	8.5	10.7	10.5	09.6	11.0	12.9	14.1	11.9
1934	16.4	11.2	15.9	12.2	10.3	12.8	14.8	12.5	12.0	12.6	14.3	14.6	13.3
1935	14.2	12.2	11.9	13.1	12.3	08.0	12.5	13.2	08.8	15.9	14.1	14.2	12.5
1936	17.0	16.5	14.6	11.3	10.4	06.8	11.6	07.8	10.2	13.9	13.5	16.4	12.5
1937	16.1	18.2	14.8	12.1	10.5	8.3	11.8	8.3	9.3	12.1	12.7	13.2	12.0
ADA	14.3	14.6	14.0	12.4	10.2	9.2	12.3	11.2	9.7	12.6	15.6	14.7	12.5

ORDEN TARJETA No.
 NOMBRE

DEPARTAMENTO GUAYAMA MUNICIPIO GUAYAMA CORREO GUAYAMA
 PROPIEDAD DE VELOCIDAD DEL VIENTO DATOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO
1928 FECHA EN QUE INICIO OPERACIONES 1928

Velocidad Máxima del Viento

OBSERVACIONES

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1926	25.0	22.0	27.0	30.0	27.0	26.0	25.0	22.0	23.0	28.0	30.0	31.0	37.0
1927	29.0	34.0	30.0	30.0	28.0	24.0	25.0	26.0	22.4	29.0	29.0	28.0	34.0
1928	32.0	29.0	31.0	27.0	24.0	21.0	26.0	25.0	29.0	27.0	30.0	30.0	32.0
1929	35.0	32.0	31.0	26.0	24.0	22.0	28.0	28.0	28.0	30.0	25.0	34.8	51.0
1930	34.0	32.0	29.0	28.0	27.0	19.4	25.0	24.0	25.0	24.0	32.0	32.0	34.0
1935	31.0	33.0	25.0	29.0	25.0	20.0	26.0	25.2	22.0	23.0	28.8	35.0	35.0
1936	34.0	26.8	27.0	31.8	28.0	29.2	24.2	28.2	24.0	28.0	30.0	29.0	37.0
1937	29.0	28.0	30.0	24.0	24.0	19.5	26.7	24.0	20.0	26.0	29.0	35.0	35.0
1938	35.4	31.5	33.0	28.0	20.5	23.0	27.2	21.2	27.0	27.5	25.7	32.0	35.4
1939	28.0	37.7	28.8	28.0	23.3	22.0	24.0	20.0	23.0	34.5	29.0	38.0	38.0
2004	31.0	31.6	31.6	27.2	25.9	27.1	25.7	24.4	24.1	27.8	27.7	32.5	32.5

ACION No. 6.1.0 NOMBRE INSIVUMBI ORDEN 1 TARJETA No. 1

APENDICE D

CALCULOS

A. Flujo Volumétrico a través de las Campanas.

Se obtiene de multiplicar el área de las campanas por la velocidad de ingreso promedio del aire.

$$\text{Area} = 4.43 \text{ pies} * 2.46 \text{ pies} = 10.90 \text{ pies}^2$$

$$\text{Flujo (Q)} = \text{Area} * \text{Velocidad de Ingreso}$$

Se presenta un ejemplo para cada cálculo.

Para la campana A1

$$Q = 10.90 \text{ pies}^2 * 48.3 \text{ pies} \backslash \text{min} = 626.4 \text{ pies}^3 \backslash \text{min}$$

B. Flujo Volumétrico a través de los Ventiladores Axiales.

Se obtiene por medio de:

$$Q = F * A * V \quad (1)$$

Q = Flujo Volumétrico, $\text{pies}^3 \backslash \text{min}$

A = Area del Ventilador, pies^2

V = Velocidad Promedio de Ingreso, $\text{pies} \backslash \text{min}$

F = Factor de Aplicación. (0.88 para malla cuadrada, Kurz Instruments. Inc., 1982)

Para el Ventilador Axial del Laboratorio de Química General (C 102).

$$\text{Diámetro} = 2.10 \text{ pies}$$

$$A = 3.14 * 2.10^2 \ / \ 4 = 3.46 \text{ pies}^2$$

$$Q = 0.88 * 3.46 * 672 \text{ pies} \ / \ \text{min} = 2049 \text{ pies}^3 \ / \ \text{min}$$

C. Tasa de Ventilación Actual.

Para el laboratorio de Química General:

$$\text{Volúmen del laboratorio} = 10340 \text{ pies}^3.$$

$$\text{Flujo Campanas A1,A2,A3} = 526+126.3+140.5 = 792.8 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$\text{Flujo Ventilador Axial} = 2049 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$\text{Flujo Total} = 2049 + 792.8 = 2841.8 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$\begin{aligned} \text{Cambios\Hora} &= 2841 \text{ pies}^3/\text{min} * 60 \text{ min/hr} / 10340 \text{ pies}^3 \\ &= 16.5 \end{aligned}$$

D. Tasa de Ventilación Optima

Para el laboratorio de Química General:

Generación de CO2 por la Actividad de las Personas

$$\text{Area de Piso Disponible} = 1033.9 \text{ pies}^2$$

$$\text{Ocupación Máxima Sugerida} = 30 \text{ personas} \ / \ 1000 \text{ pies}^2 \text{ de piso} (13)$$

$$\text{CO2/persona} = 0.62 \text{ g/min} (13)$$

$$\text{CO}_2/\text{ocupación máxima} = 0.62\text{g}/\text{min} * 31 = 19.2 \text{ g}/\text{min}$$

Generación de CO₂ por Combustión de los Quemadores

La llama óptima de un mechero corresponde a un flujo de 1.6 pies³/min de aire + propano (experimental).

Asumiendo una combustión perfecta, por 1 pie cúbico de propano se tienen 24.8 pies cúbicos de la mezcla de combustible y aire (Perry, et. al., 1981), por lo tanto

$$\begin{aligned} 1.6 \text{ pies}^3/\text{min (Aire+Propano)} * \frac{1 \text{ pie}^3 \text{ propano}}{24.8 \text{ pies}^3 \text{ (prop.+aire)}} \\ = .064 \text{ pies}^3/\text{min de Propano} \end{aligned}$$

CO₂/Quemador =

$$\begin{aligned} 0.064 \text{ pies}^3/\text{min Prop.} * 3 \text{ pies}^3 \text{ CO}_2/1 \text{ pie}^3 \text{ Prop} * 454 \text{g}/\text{lb} \\ = 10.36 \text{ g}/\text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ total Quemadores} = 10.36 \text{g}/\text{min}/\text{quemador} * 21 \text{ quemadores} = \\ 217.6 \text{ g}/\text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Generación Total de CO}_2 &= \text{CO}_2/\text{personas} + \text{CO}_2/\text{combustión} \\ &= 217.6 + 19.2 = 236.8 \text{ g}/\text{min} \end{aligned}$$

Aire de Dilución

El aire de dilución necesario para mantener la concentración de CO₂ por debajo de los límites permitidos se calcula por medio de:

$$V_o = \frac{Q}{TLV - C_o} \quad (2)$$

donde

V_o = Flujo de Aire Exterior, m³/min

TLV = Concentración Máxima Permitida, mol/m³

C_o = Concentración Exterior del Contaminante, mol/m³

Q = Tasa de Generación del Contaminante, mol/min

Para el laboratorio de Química General:

$$Q = 236.8 \text{ g/min CO}_2 * 1 \text{ mol CO}_2/44\text{g} = 5.43 \text{ mol/min}$$

$$TLV = 0.0345 \text{ mol/m}^3 \text{ (1000ppm)} \quad (13)$$

$$C_o = 0.01035 \text{ mol/m}^3 \text{ (0.03\%)} \quad (13)$$

sustituyendo en (2)

$$V_o = \frac{5.43 \text{ mol/min}}{(0.0345 - 0.01035) \text{ mol/m}^3} = 224.7 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$224.7 \text{ m}^3/\text{min} * 35.3 \text{ pies}^3/1 \text{ m}^3 = 7930 \text{ pies}^3/\text{min}$$

E. Balance de Aire

Aire que Entra = Aire que Sale

Aire Ingresado = Aire Campanas + Dilución CO₂

Asumiendo un 65% de carga para los quemadores:

Aire de Dilución = $0.65 * 7930 \text{ pies}^3/\text{min} = 5154 \text{ pies}^3/\text{min}$

Aire Campana = $100 \text{ pies}/\text{min} * 10.90 \text{ pies}^2 = 1090 \text{ pies}^3/\text{min}$

Aire Ingresado = $5154 + 1090 * 3 = 8424 \text{ pies}^3/\text{min}$

F. Concentración de los Exhaustos de las Campanas en las Descargas de los Ventiladores y Corredores del Edificio

Tasa de Evaporación de los Reactivos

Para ésto se utiliza la ecuación de Transferencia de Masa en Estado Estacionario:

$$N_a = \frac{D_{ab} * P_t}{R * T * z * P_{b,m}} (P_{a1} - P_{a2}) \quad (3)$$

donde:

N_a = Flujo molar por unidad de área, mol/m²/s

D_{ab} = Difusividad de A en el no-difundente B, m²/s

P_t = Presión total, N/m²

P_{a1} = Presión parcial de A en la interfase líquido-gas, N/m^2

P_{a2} = Presión parcial de A en z, N/m^2

R = Constante de los Gases Ideales, $88314 N.m / Kmol$

T = Temperatura absoluta, K

z = Altura de la zona de transferencia de masa, m

$P_{b,m}$ = Presión parcial media logarítmica del componente B

$$P_{bm} = \frac{P_{b2} - P_{b1}}{\ln(P_{b2} - P_{b1})} \quad (4)$$

P_{b1}, P_{b2} = Presión parcial del Componente B (aire) en la interfase y en z, N/m^2

La Difusividad D_{ab} se calcula por medio de:

$$D_{ab} = \frac{10^{-4}(1.084 - 0.249(1/M_a + 1/M_b)^{0.5})T^{(3/3)}(1/M_a + 1/M_b)^{0.5}}{P_t * r_{ab}^2 * f(KT/E_{ab})}$$

(5)

donde:

M_a, M_b = Peso molecular de A y B, respectivamente, $Kg/Kmol$

P_t = Presión total, N/m^2

r_{ab} = Separación molecular durante el choque, nm

E_{ab} = Energía de atracción molecular = $(E_a * E_b)^{0.5}$

K = Constante de Boltzman

$f(KT/E_{ab})$ = función de choque dada por la figura #1

$$r_{ab} = (r_a + r_b) / 2 \quad (6)$$

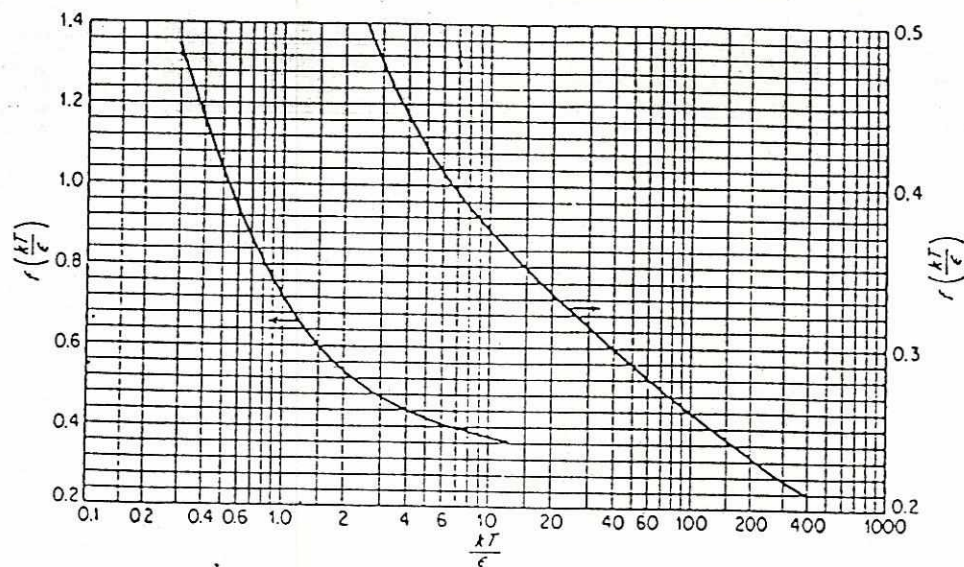


Figura # 1: Función de choque para la Difusión (14)

Tabla # 1: Volúmenes Atómicos y Moleculares (14)

Volumen atómico, $\text{m}^3/1000 \text{ átomos} \times 10^3$		Volumen molecular, $\text{m}^3/\text{kmol} \times 10^3$		Volumen atómico, $\text{m}^3/1000 \text{ átomos} \times 10^3$		Volumen molecular $\text{m}^3/\text{kmol} \times 10^3$	
Carbono	14.8	H ₂	14.3	Oxígeno	7.4	NH ₃	25.8
Hidrógeno	3.7	O ₂	25.6	Oxígeno en ésteres metílicos	9.1	H ₂ O	18.9
Cloro	24.6	N ₂	31.2	Oxígeno es ésteres superiores	11.0	H ₂ S	32.9
Bromo	27.0	Aire	29.9	Oxígeno en ácidos	12.0	COS	51.5
Iodo	37.0	CO	30.7	Oxígeno en ésteres metílicos	9.9	Cl ₂	48.4
Azúfre	25.6	CO ₂	34.0	Oxígeno en ésteres superiores	11.0	Br ₂	53.2
Nitrógeno	15.6	SO ₂	44.8	Anillo benzénico: restar	15	I ₂	71.5
Nitrógeno en aminas primarias	10.5	NO	23.6	Anillo naftalénico: restar	30		
Nitrógeno en aminas secundarias	12.0	N ₂ O	36.4				

r puede calcularse por medio de:

$$r = 1.18 * v^{.33} \quad (7)$$

donde; v = Volumen molal del líquido en el punto de ebullición normal, m³/kmol (Tabla #1)

$$E/K = 1.21 * T_b \quad (8)$$

donde; T_b = Punto de ebullición normal, K

En la figura # 8 de la sección de Resultados se muestra un esquema del modelo de transferencia de masa utilizado.

A continuación se desarrolla un ejemplo del cálculo de la tasa de evaporación para el caso del Etanol

$$T = 273 + 30 = 303 \text{ K}$$

$$P_t = 640 \text{ mm Hg} * \frac{1.013E5 \text{ N/m}^2}{760 \text{ mm Hg}} = 8.5 \text{ E } 4 \text{ N/m}^2$$

$$M_a = 46.07 \text{ (Etanol)}$$

$$M_b = 29 \text{ (Aire)}$$

$$E_b/K = 78.6, \text{ para el Aire (14)}$$

De la tabla #1, para el Etanol:

$$V_a = 2(0.0148) + 6(0.0037) + 0.0074 = 0.0592$$

Sustituyendo en (7)

$$r_a = 1.18(0.0592)^{.33} = 0.46 \text{ nm}$$

T_b para el Etanol es 351.4 k (Perry, et. al., 1981),

sustituyendo en (8)

$$Ea/K = 1.21(351.4) = 425$$

Como $r_b = 0.371$ (Treybal, 1988), sustituyendo en (6)

$$r_{ab} = (0.46 + 0.3711) / 2 = 0.416$$

$$E_{ab} = (425 * 78.6)^{.5} = 170.7$$

$$KT/E_{ab} = 303 \setminus 170.7 = 1.775$$

de la figura # 1, $f(KT/E_{ab}) = 0.58$

$$(1/46.07 + 1/29)^{.5} = 0.237$$

sustituyendo en (5)

$$D_{ab} = \frac{10^{-4}(1.084 - 0.249 * 0.237)(303)^{.33}(0.237)}{8.5E4 * 0.416^2 * 0.58}$$

$$= 1.558 E-5 \text{ m}^2/\text{s}$$

$P_{a1} = \text{Presión de vapor del Etanol} = 7670 \text{ N/m}^2$
(Perry, et. al 1981)

$P_{a2} = 0$ (aire libre de Etanol)

$P_{b1} = P_t - P_{a1} = 8.5E4 - 7670 = 773330 \text{ N/m}^2$

$P_{b2} = 8.5 E 4 \text{ N/m}^2$

sustituyendo en la ec. (2)

$$P_{b,m} = \frac{77330 - 8.5E4}{\ln(77330/8.5E4)} = 81105 \text{ N/m}^2$$

sustituyendo en (3)

$$N_a = \frac{1.558E-5 \text{ m}^2/\text{s} * 8.5E4 \text{ N/m}^2 * 7670 \text{ N/m}^2}{8314 \text{ Nm/kmol} * 303 \text{ K} * 0.01 \text{ m} * 81105 \text{ N/m}^2}$$

$$= 5.0 E-6 \text{ kmol/s/m}^2$$

Tomando un área de transferencia de masa correspondiente a un beaker de 11 cm de diámetro

$$A = 3.14 * (0.11)^2 / 4 = 0.01 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, la tasa de evaporación es

$$\frac{5E-6 \text{ Kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} * \frac{46.07 \text{ kg}}{1 \text{ Kmol}} * \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} * 0.01 \text{ m}^2 = 0.0181 \text{ lb/hr}$$

Concentración de los Exhaustos en las Descargas de las Campanas

Concentración = Tasa de Evaporación / Flujo Aire Campana

Para una velocidad de Ingreso de 100 pies por minuto corresponde un flujo volumétrico de 1090 pies³/min.

$$C = \frac{5E-6 \text{ Kmol/m}^2 \cdot \text{s} * 1000 \text{ mol/kmol} * 0.01 \text{ m}^2 * 60 \text{ s/min} * 10^6}{1090 \text{ pies}^3/\text{min} * 1 \text{ mol/pies}^3}$$

= 3 ppm.

Concentración de los Contaminantes en los Corredores del Edificio .

La dilución que sufren los exhaustos de las campanas, desde las descargas de los ventiladores hasta los corredores del edificio se evalúa por medio de:

$$D = (4.66 + 0.147 (l^2/Ae)^{.5})^2 * V/Vo \quad (9)$$

D = Razón de la concentración de los contaminantes desde la descarga hasta cualquier punto

l = Distancia, pies

Ae = Area de la descarga del ventilador, pies²

V = Velocidad del viento, pies/ min

Ve = Velocidad de los contaminantes en la descarga del ventilador, pies/min

Para el Etanol y usando la velocidad media del viento para la ciudad de Guatemala:

l = 35 pies (Distancia entre corredor y descarga)

V = 679.0 pies/min (Tabla #4, Apéndice C)

Ae = 1.36 pies² (para los ventiladores actuales)

Ve = (2180 pies³/min) / (1.36 pies²) = 1603 pies/min

sustituyendo en (9)

$$D = (4.66 + 0.147(35^2/1.36)^{.5})^2 * 679/1603 = 35$$

Concentración del Etanol en el corredor = 3ppm/35 = 0.086 ppm

G. Cálculos de Diseño

Ductos de los Extractores

Para el laboratorio de Química General deben de manejarse 5154 pies cúbicos de aire por minuto, para efectos de cálculos se usará 5000 pies cúbicos por minuto.

De la tabla # 3 del Apéndice E, se muestra que la velocidad máxima, para el flujo señalado y para sistemas de alta velocidad es de 3000 pies/min.

$$\begin{aligned} \text{Area del Ducto} &= (5000 \text{ pies}^3/\text{min}) / (3000 \text{ pies}/\text{min}) \\ &= 1.67 \text{ pies}^2. \end{aligned}$$

Por lo tanto el diámetro del ducto es de

$$D = (1.67 \text{ pies}^2 * 4 / 3.14)^{.5} = 1.46 \sim 1.5 \text{ pies}$$

Para convertir diámetros circulares a dimensiones rectangulares se utiliza

$$dc = \frac{1.30 (a * b)^{0.625}}{(a + b)^{0.25}} \quad (10)$$

dc = Diámetro circular equivalente de un ducto rectangular para igual fricción y capacidad, pulgadas.

a = Longitud de uno de los lados del ducto rectangular, pulgadas.

b = Longitud del lado adyacente del ducto rectangular, pulgadas.

La ecuación 10 tiene la restricción de ser para ductos con una relación altura (H) / ancho (W) mayor de 1/8. (16)

Asumiendo H (a) de 9 pulgadas y sustituyendo en 10

$$18 = \frac{1.30(9 * b)^{0.625}}{(9+b)^{0.25}}$$

Despejando, b = 18 pulgadas (W).

Como H/W = 9/34 = 0.26, mayor que 0.125, entonces la relación esta dentro de los límites permitidos.

Para el resto de los ductos de los extractores se toman estas dimensiones, por lo que la velocidad de diseño es

$$V = \frac{3000 \text{ pies/min}}{1.5^2 * 3.14/4} = 1697.6 \sim 1700 \text{ pies/min}$$

la cual es menor que la velocidad máxima sugerida (tabla #3, Apéndice E).

Ducto Principal

El flujo total que debe de manejar el ducto principal viene dado por:

Dispositivo	Flujo Volumétrico (pies ³ /min)
16 Campanas de Extracción	16000
Ventilador Extractor Química General	5000
4 Ventiladores Extractores Resto de Laboratorios	12000
	----- 33000

Asumiendo que este flujo está presente a través de todo el ducto, de la tabla # 3, Apéndice E, la máxima velocidad de diseño sugerida es de 5000 pies por minuto, por lo que, tomando una velocidad de 4000 pies por minuto, el diámetro del ducto es:

$$D = ((33000 * 4) / (4000 * 3.14))^{.5} = 3.24 \text{ pies} \\ (38.8 \text{ pulgadas})$$

Asumiendo H de 30 pulgadas y sustituyendo en (10), se encuentra que W = 42 pulgadas y H/W = 30/42 = 0.71, mayor que 0.125, por lo que las dimensiones están dentro de los parámetros recomendados.

Caída de Presión en el Sistema

Para estimar las pérdidas por fricción se usa la expresión:

$$H_f = f(1/D)H_v \quad (11)$$

donde:

Hv = Presión de Velocidad, pulgadas de agua

f = Factor de fricción, f(NRe, e/D), adimensional

D = Diámetro del ducto, pies

l = Longitud del ducto, pies

e = Factor de rugosidad, pies (0.005 para el acero (16))

$$NRe = \frac{D * V * d}{u} \quad (12)$$

NRe = Número de Reynolds, adimensional

V = Velocidad lineal media, pies/s

d = Densidad, lb/pies³

D = Diámetro del ducto, pies

$$Hv = 0.8303 * d (V / 1000)^2 \quad (13)$$

Para la caída de presión en codos, la longitud equivalente se obtiene por medio de

$$L/W = (0.33 R/W)^{(-2.35(H/W)^{0.126})} \quad (14)$$

R = Radio central del codo, pulgadas

W = Ancho del ducto rectangular, pulgadas

L = Longitud equivalente, pulgadas

Las pérdidas de presión estática por contracciones se calcula por medio de

$$\begin{aligned}
 P_1 - P_2 = DP &= (1 + C_2) \left(\frac{V_2}{4005} \right)^2 - \left(\frac{V_1}{4005} \right)^2 \\
 &= \left(\frac{V_2}{4005} \right)^2 - (1 - C_1) \left(\frac{V_1}{4005} \right)^2
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

DP = Caída de presión estática, pulgadas de agua

V₂ = Velocidad en A₂ menor que A₁, pies/min

V₁ = Velocidad en A₁, pies/min

C₂ = Coeficiente de pérdida por contracción en A₂, adimensional.

La ganancia de presión estática en expansiones se estima por:

$$\begin{aligned}
 DP &= (1 - C_1) \left(\frac{V_1}{4005} \right)^2 - \left(\frac{V_2}{4005} \right)^2 \\
 &= \left(\frac{V_1}{4005} \right)^2 - (1 + C_2) \left(\frac{V_2}{4005} \right)^2
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

C₁ = Coeficiente de pérdida basado en A₁ (área 1) menor que A₂, adimensional.

A continuación se presenta un ejemplo para el cálculo de la caída de presión para el ducto del extractor del laboratorio de Química General, cuyo esquema se muestra en la figura # 11 de la sección de Resultados.

$$d \text{ (aire)} = 0.064 \text{ lb/pie}^3 \text{ (} 20 \text{ C y } 640 \text{ mm Hg)}$$

$$u = 1.21 \text{ E-}6 \text{ lb/s.pie (Perry, et. al, 1981)}$$

$$V = 3000 \text{ pies/min} * 1 \text{ min/ } 60 \text{ s} = 50 \text{ pies/ s}$$

$e/D = 0.0005$ pies, para el acero (16)
sustituyendo en (12)

$$NRe = (1.5 * 50 * 0.064) / (1.21 E-6) = 4 E 6$$

de la figura #2, $f = 0.004$
evaluando (13)

$$H_v = 0.8303 * 0.064 (3000/1000)^2 = 0.48 \text{ pulgadas agua}$$

Tomando como base 100 pies de longitud del ducto y
sustituyendo en (12),

$$H_f = 0.004 (100/1.5) 0.48 = 0.13 \text{ pulgadas de agua}$$

Asumiendo 40 uniones por cada 100 pies de ducto, cada
unión produce aproximadamente 0.012 pulgadas de agua de
pérdida de presión (13), por lo tanto, la caída total por
uniones es de 0.48 ~ 0.5 pulgadas de agua. Entonces,

$$H_f/100 \text{ pies} = 0.128 + 0.5 = 0.63 \text{ pulgadas de agua.}$$

Como el ducto tiene 5 codos , asumiendo una razón R/W de
1.5 y para H/W = 0.26, sustituyendo en la ecuación (14)

$$L/W = (0.33 * 1.5)^{-2.13} (0.26)^{-0.26} = 3.5$$

$$L = 3.5 * 34 \text{ pulgadas} = 120 \text{ pulgadas (10 pies)}$$

La pérdida de presión estática por fricción es:

$$H_f = (4.8 + 15.4 + 2.1 + 30 + 10 \times 5) 0.63 / 100$$

$$= 0.64 \text{ pulgadas de agua.}$$

Pérdidas Dinámicas

En la figura # 12 de la sección de Resultados se muestra un esquema del extractor. Como se puede ver se presentan dos contracciones, una en la rendija de entrada del aire (2 pulgadas) y otra en la unión del extractor con el ducto.

Para la primera, la relación del área de entrada A_0 , con el área transversal del ducto A_2 , es:

$$A_0/A_2 = 2/9 = 0.2$$

de la tabla # 2, $C_0 = 1.90$.

Despreciando V_2 y sustituyendo en (15)

$$DP = - (1 - 1.90) (1000/4005)^2 = 0.06 \text{ pulgadas de agua}$$

Para la contracción de la unión del ducto

$$A_1/A_2 = (34) / (30 \times 12) = 0.01$$

De la tabla # 2; $C_2 = 0.34$, y tomando V_1 como 222 pies por minuto, de la ecuación (15):

Figura # 2: Factor de Fricción en Función del Número de Reynolds.

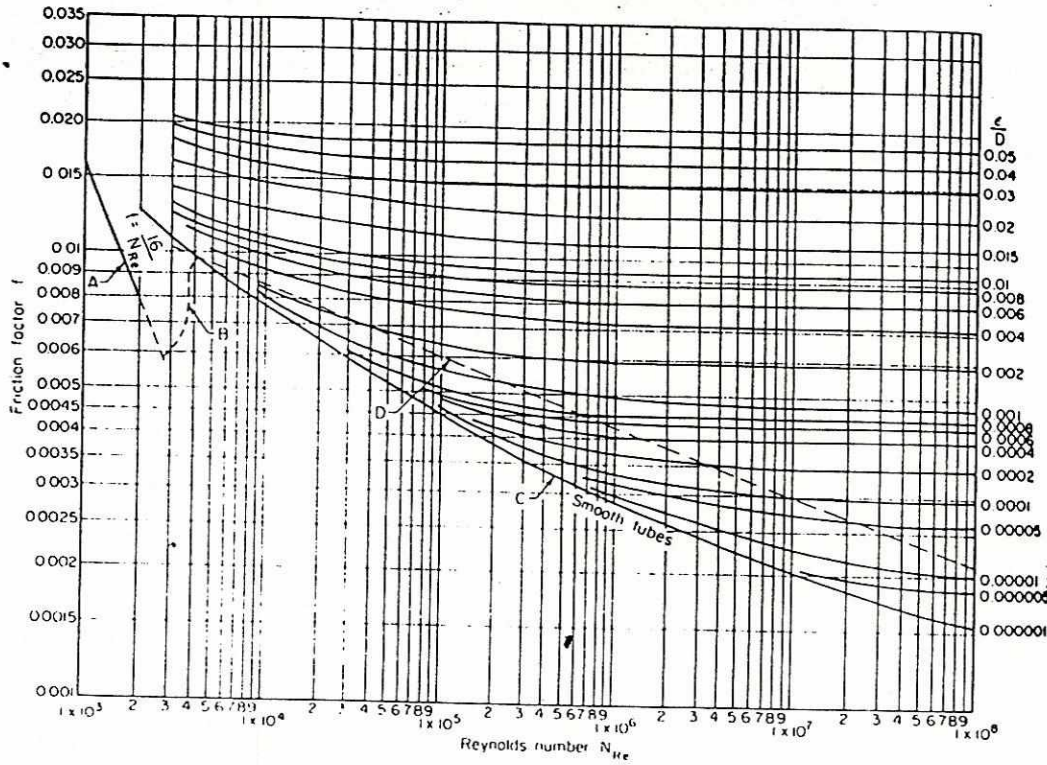


Tabla #2: Coeficiente de Pérdida por Cambio de Area (16)

TYPE	ILLUSTRATION	CONDI-TIONS	LOSS COEFFICIENT	TYPE	ILLUSTRATION	CONDI-TIONS	LOSS COEFFICIENT
ABRUPT EXPANSION		A_1/A_2	C_1 C_2	ABRUPT CONTRACTION SQUARE EDGE		A_2/A_1	C_2
		0.1	0.81 0.1			0.0	0.34^2
		0.2	0.64 0.16			0.2	0.32
		0.3	0.49 0.5			0.4	0.25
		0.4	0.36 2.25			0.6	0.16
		0.5	0.25 1.00			0.8	0.06
		0.6	0.16 0.45				
		0.7	0.09 0.18				
		0.8	0.04 0.06				
GRADUAL EXPANSION		θ	C_1	GRADUAL CONTRACTION		θ	C_2
		5°	0.17 ^B			30°	0.02 ^B
		7°	0.22			45°	0.04
		10°	0.28			60°	0.07
		20°	0.45				
ABRUPT EXIT		A_1/A_2	1.00	EQUAL AREA TRANSFORMATION		A_1/A_2	C
		0.0	2.50 ^B			$\beta \le 14^\circ$	0.15 ^B
		0.2	2.44				
		0.4	2.26				
SQUARE EDGE ORIFICE EXIT		A_1/A_2	C_2	FLANGED ENTRANCE		A_1/A_2	C
		0.6	1.96			$A_1 = \infty$	0.34 ^B
		0.8	1.54				
		1.0	1.00				
BAR ACROSS DUCT		d/D	C	DUCT ENTRANCE		A_1/A_2	C_2
		0.10	0.7 ^B			0.0	2.50 ^B
		0.25	1.4			0.2	1.90
		0.50	4.0			0.4	1.39
PIPE ACROSS DUCT		d/D	C	SQUARE EDGE ORIFICE ENTRANCE		A_1/A_2	C_2
		0.10	0.20 ^B			0.6	0.96
		0.25	0.55			0.8	0.61
STREAM-LINED STRUT ACROSS DUCT		d/D	C	1.0	0.34		
		0.10	0.07 ^B				
		0.25	0.23				
INTERNAL THE		d/D	C	SQUARE EDGE ORIFICE IN DUCT		A_1/A_2	C_2
		0.10	0.07 ^B			0.0	2.50 ^B
		0.25	0.23			0.2	1.86
		0.50	0.90			0.4	1.21

$$\begin{aligned}
 DP &= (1 + 0.34) (3000/4005)^2 - (222/4005)^2 \\
 &= 0.75 \text{ pulgadas de agua}
 \end{aligned}$$

La pérdida total en la succión es la suma de las pérdidas dinámicas y las de fricción

$$DP = 0.64 + 0.06 + 0.75 = 1.45 \sim 1.50 \text{ pulgadas de agua}$$

Las pérdidas en la descarga vienen dada por: caída de presión en el codo que une la descarga del ventilador con el ducto principal, caída de presión en el ducto principal y la chimenea y las pérdidas dinámicas en las uniones con el ducto principal de los demás ventiladores, contracción y codo de la chimenea.

Usando el procedimiento anterior, las pérdidas por fricción en el ducto principal serán

$$\begin{aligned}
 H_f &= (0.02 \text{ pulgadas de agua}/100 \text{ pies}) 153 \text{ pies} \\
 &= 0.03 \text{ pulgadas de agua}
 \end{aligned}$$

Para la chimenea,

$$\begin{aligned}
 H_f &= (0.15 \text{ pulg. agua}/100 \text{ pies}) * 39 \text{ pies} \\
 &= 0.06 \text{ pulgadas de agua}
 \end{aligned}$$

Para el codo de 45 grados que une el ventilador al ducto principal, tomando como base $W = 0.95$ pies y $H = 1.35$ pies, de la ecuación (14) se tiene que $L = 5$ pies.

Asumiendo que para el codo de la chimenea $R/W = 1$ y como $H/W = 30/42 = 0.71$, se encuentra que en este caso el coeficiente de descarga es de $C = 0.41$ (Perry, et. al, 1981), de tal forma que

$$DP = 0.41 (1592/4005)^2 = 0.65 \sim 0.7 \text{ pulgadas de agua}$$

En la contracción de la chimenea se tiene que

$$A2/A1 = 0.36$$

por lo que, para una contracción abrupta, de la tabla # 2 se tiene que $C2 = 0.25$, y sustituyendo en (15)

$$\begin{aligned} DP &= (1 + 0.25) (1592/4005)^2 - (571/4005)^2 \\ &= 0.18 \text{ pulgadas de agua.} \end{aligned}$$

La presión estática necesaria para vencer la altura de la chimenea se calcula por

$$DP = 38 \text{ pies} * (0.064/62.3) = 0.04 \text{ pulgadas de agua}$$

Asumiendo 0.5 pulgadas de agua por caída de presión en las uniones del resto de los ventiladores, la pérdida total de presión estática en la succión es :

$$\begin{aligned} DP_s &= 0.03 + 0.06 + 0.07 + 0.07 + 0.18 + 0.04 + 0.5 \\ &= 1.0 \text{ pulgadas de agua} \end{aligned}$$

H. Dimensionamiento de los Ventiladores

La potencia que se debe de proporcionar al aire se calcula por medio de

$$HP \text{ Aire} = (144 * 0.0361) Q * h / 33000 \quad (17)$$

donde:

Q = Flujo volumétrico, pies³/min

h = Aumento de la presión estática, pulgadas de agua

Para determinar la potencia del ventilador se divide la potencia del aire entre la eficiencia mecánica (ventilador y motor).

$$h = h \text{ succión} + h \text{ descarga}$$

$$h = 1.5 + 1 = 2.5 \text{ pulgadas de agua}$$

Despreciando las correcciones para condiciones normales

$$\begin{aligned} \text{HP Aire} &= (144 * 0.0361) * 5000 * 2.5 / 33000 \\ &= 2 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Asumiendo una eficiencia mecánica de 50 %

$$\text{HP} = 2 / 0.5 = 4$$

I. Concentración de los Contaminantes al Nivel del Suelo

Se hace en base al modelo de dispersión Gaussiana, según el cual, la concentración máxima al nivel del suelo y en la dirección dominante del viento viene dada por

$$C_{\text{max}} = \frac{Q}{2 * \text{Pi} * S_y * S_z * u} e^{(-0.5(h_e/S_z)^2)} \quad (18)$$

donde:

C_{max} = Concentración máxima al nivel del suelo en la dirección dominante del viento, g/m³

h_e = Altura efectiva de la chimenea, m

Q = Volúmen de emisión de los contaminantes, g/s

S_y = Coeficiente de difusión en la dirección y, m

S_z = Coeficiente de difusión en la dirección z, m

u = Velocidad promedio del viento, m/s

Para las condiciones de Guatemala, donde el gradiente

vertical de temperatura es de $0.6 \text{ C} / 100 \text{ m}$ (INSIVUMEH), según la clasificación de Pasquill (5), corresponde a una atmósfera con estabilidad neutral, por lo que los coeficientes de difusión están dados por

$$S_y = 0.16 X (1 + 0.0004 X)^{-0.5} \quad (19)$$

$$S_z = 0.14 X (1 + 0.0003 X)^{-0.5} \quad (20)$$

La altura efectiva es la suma de la altura de la chimenea y la pluma , pero para efectos de cálculos, se desprecia la altura de la pluma.

$h_e = 16.5 \text{ m}$ (altura de la chimenea más la del edificio sobre el nivel de referencia)

$u = 3.45 \text{ m/s}$ (velocidad media promedio, tabla 4 Apéndice C)

Para el caso del etanol

$$Q = 0.018 \text{ lb/hr} * 454 \text{ g/lb} * 1 \text{ hr}/3600 \text{ s} = 0.0023 \text{ g/s}$$

Sustituyendo en (18) e iterando con (19) y (20), se encuentra que la concentración máxima ocurre para $X = 85 \text{ m}$, sustituyendo en (19) y (20)

$$S_y = 0.16 * 85 (1 + 0.0004 * 85)^{-0.5} = 13.4 \text{ m}$$

$$S_z = 0.14 * 85 (1 + 0.0003 * 85)^{-0.5} = 11.8 \text{ m}$$

sustituyendo finalmente en (18)

$$C_{\max} = \frac{0.0023 \text{ g/s}}{2 * 3.14 * 13.4 \text{ m} * 11.8 \text{ m} * 3.45 \text{ m/s}} e^{(-0.5(16.5/11.8)^2)}$$

$$= 2.51 \text{ E } -7 \text{ g/m}^3$$

$$C = \frac{2.51 \text{ E } -7 \text{ g Etanol} * 0.002839 \text{ m}^3 \text{ aire} * 1 \text{ mol Etanol} * 10^6}{\text{m}^3 \text{ Aire} \quad 1 \text{ mol Aire} \quad 46.07 \text{ g}}$$

$$= 1.52 \text{ E } -5 \text{ ppm}$$

Tabla #1: Niveles de Reconocimiento de Olores.(2)

Compuesto	ppm por Volúmen
Acetaldehído	0.2
Acido Acético	1
Acetona	100
Acreolina	0.2
Acrilonitrilo	20
Cloruro de Alilo	0.5
Amonio	50
Anilina	1
Benceno	5
Cloruro de Bencilo	0.05
Sulfuro de Bencilo	0.002
Bromuro	0.05
Acido Butírico	0.001
Disulfuro de Carbono	0.2
Tetracloruro de Carbono	20
Cloruro	0.3
O-Cresol	0.001
Dimetilacetamida	50
Dimetilformamida	100
Sulfuro de Dimetilo	0.005
Etanol	10
Formaldehído	1
Acido Clorhídrico	10
Sulfuro de Hidrógeno	0.0005
Metanol	100
Cloruro de Metileno	200
Nitrobenceno	0.005
Fenol	0.05
Dióxido de Azufre	0.5
Tolueno	5
Xileno	0.5

Figura #1: Adecuacidad de los Métodos de Control para Orgánicos(4)

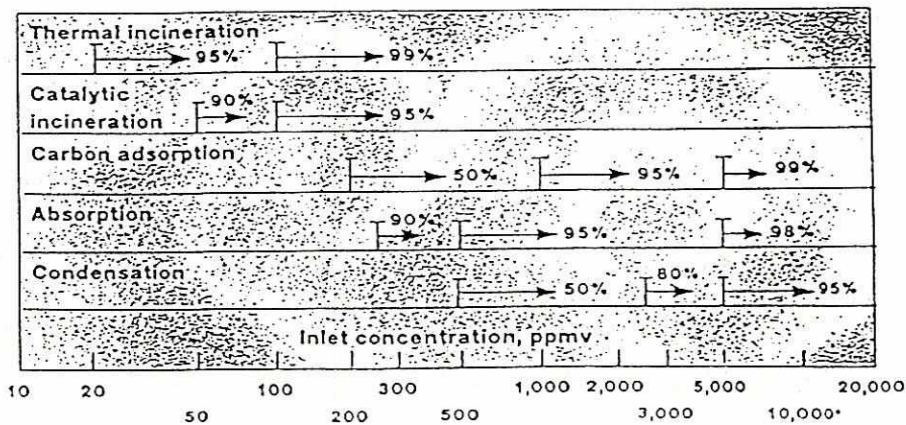


Tabla #2: Parámetros de Diseño Característicos para Adsorbedores no Regenerativos.(9)

Velocidad de Diseño (pies/min)	100
Profundidad del lecho (pulgadas)	Hasta 18
Rango de Concentración (ppm)	Hasta 1, Típico
Capacidad de las unidades	5000 (pies ³ /min)
Vida Util Típica del Carbón (años)	1/3-1/2

Tabla #3: Velocidades Máximas en los Ductos Recomendadas para Sistemas de Alta Velocidad. (16)

Flujo en Ducto (pies ³ /min)	Velocidad Máxima (pies/min)
60000-40000	6000
40000-25000	5000
25000-15000	4500
15000-10000	4000
10000-6000	3500
6000-3000	3000
3000-1000	2500
