



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO DE VENTILACIÓN GENERAL EN FÁBRICA DE ALIMENTOS
ENLATADOS, ALIMENTOS MONTESOL**

Ronald Ademaro del Cid Torres

Asesorado por el Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga

Guatemala, marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE VENTILACIÓN GENERAL EN FÁBRICA DE ALIMENTOS
ENLATADOS, ALIMENTOS MONTESOL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

RONALD ADEMARO DEL CID TORRES

ASESORADO POR EL ING. LUIS ALFREDO ASTURIAS ZÚÑIGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE VENTILACIÓN GENERAL EN FÁBRICA DE ALIMENTOS ENLATADOS, ALIMENTOS MONTESOL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 5 de septiembre de 2014.



Ronald Ademaro del Cid Torres

Guatemala, 24 de agosto de 2015

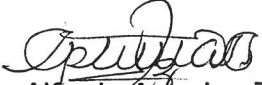
Ingeniero Julio Cesar Campos Paiz
Coordinador Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica
Universidad de San Carlos de Guatemala


Ingeniero Campos:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación titulado **"ESTUDIO DE VENTILACIÓN GENERAL EN FÁBRICA DE ALIMENTOS ENLATADOS, ALIMENTOS MONTESOL"** desarrollado por el estudiante **Ronald Ademaro del Cid Torres**; habiéndolo encontrado satisfactorio en su contenido y resultados, me permito dar aprobación al mismo.

Sin otro particular me despido,

Atentamente,


Ing. Luis Alfredo Asturias Zuñiga.
Colegiado 2787
Asesor


Ing. Luis A. Asturias Zuñiga
INGENIERO MECANICO
COL. 2787



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.317.2015

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE VENTILACIÓN GENERAL EN FÁBRICA DE ALIMENTOS ENLATADOS, ALIMENTOS MONTESOL** del estudiante **Ronald Ademaro del Cid Torres** carné No. **2007-14730** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio César Campos Paiz
Coordinador del Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



MA Ing. Julio César Campos Paiz
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 2701

Guatemala, octubre de 2015



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.078.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE VENTILACIÓN GENERAL EN FÁBRICA DE ALIMENTOS ENLATADOS, ALIMENTOS MONTESOL** desarrollado por el estudiante **Ronald Ademaro del Cid Torres**, **CUI 2432024900101**, Registro Académico **200714730** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, marzo de 2019

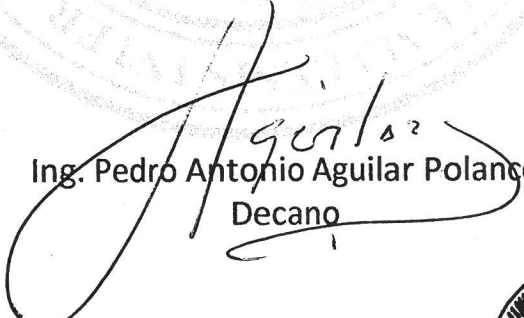
/aej



DTG. 150.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE VENTILACIÓN GENERAL EN FÁBRICA DE ALIMENTOS ENLATADOS, ALIMENTOS MONTESOL**, presentado por el estudiante universitario: **Ronald Ademaro del Cid Torres**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, marzo de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Olga Torres y Ademaro del Cid, por haberme orientado y apoyado en mis decisiones y su motivación incondicional. Gracias por sus sacrificios, y por inculcarme y demostrarme que uno debe luchar para forjar su propio camino. Mi cariño y agradecimiento hacia ustedes es inconmensurable.

Mis hermanos

Adely y Miguel del Cid, por su compañía y aprecio, sepan que siempre cuentan con mi apoyo.

Mis amigos

Compartir con ustedes todos esos buenos y malos momentos, sus palabras de aliento y solidaridad hicieron una gran experiencia.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por recibirme en su casa de estudios y demostrarme la necesidad de ser un profesional correcto y ético para generar un cambio para el bien.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme el conocimiento académico y científico para desarrollarme como profesional
Nancy Linde	Por todo su apoyo durante este trabajo y su confianza.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Historia de la empresa.....	1
1.1.1. Política de calidad.....	2
1.1.2. Descripción del sistema de gestión de calidad e inocuidad	2
1.2. Productos enlatados.....	4
1.2.1. Palmito en salmuera.....	4
1.2.2. Piña en almíbar.....	4
1.3. Proceso de producción.....	5
1.4. Departamento de Mantenimiento	6
1.5. Normas nacionales de ambiente de trabajo	7
2. CONCEPTOS BÁSICOS DE VENTILACIÓN.....	11
2.1. Ventilación.....	11
2.2. Tipos de ventilación.....	12
2.2.1. Ventilación localizada	12
2.2.2. Ventilación general	15
2.2.3. Ventilación natural	16
2.2.4. Ventilación forzada	16

2.3.	Ventilador	17
2.4.	Leyes de los ventiladores	18
2.5.	Tipos de ventiladores	21
2.5.1.	Por su función	22
2.5.2.	Por la trayectoria del aire.....	23
2.5.3.	En función de la presión	26
2.5.4.	Basado en sus condiciones de funcionamiento.....	27
2.5.5.	Atendiendo al sistema de accionamiento	27
2.6.	Extractores de tipo eólico	28
2.7.	Calidad del aire	30
2.8.	Clases de locales	31
2.9.	Filtrado del aire	33
3.	CONDICIONES ACTUALES	37
3.1.	Registro de variables ambientales	39
3.2.	Sistema de ventilación	42
3.3.	Velocidad del aire.....	44
3.4.	Zonas sensibles	45
4.	CÁLCULOS PARA SISTEMA DE VENTILACIÓN	47
4.1.	Método de cálculo	47
4.2.	Resultados teóricos.....	47
4.2.1.	Determinación de la demanda de aire.....	48
4.2.2.	Aire de extracción.....	55
4.2.3.	Simulaciones de ventilación	56
4.2.4.	Edad del aire	63
4.2.5.	Eficiencia de ventilación	65
4.3.	Filtrado	66

5.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	69
5.1.	Partes y repuestos.....	70
5.2.	Frecuencia de fallas	71
5.3.	Rutinas de mantenimiento	72
5.3.1.	Equipo de ventilación.....	72
5.3.2.	Filtros.....	73
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	ANEXO	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ventilación localizada.....	14
2.	Ventilación general.....	17
3.	Ventilador de chorro.....	22
4.	Disposición de álabes en ventiladores centrífugos	24
5.	Ventilador axial.....	24
6.	Ventilador helicocentrífugo.....	25
7.	Curvas características de ventiladores.....	25
8.	Ventilador con transmisión por correa.....	28
9.	Extractor tipo eólico.....	30
10.	Croquis de edificio de producción	38
11.	Temperaturas en el área de Producción	41
12.	Condición de filtros de aire.....	43
13.	Modelo de ventiladores instalados	43
14.	Velocidad de aire medida en la planta.	45
15.	Identificación de zonas sensibles.....	46
16.	Modelo tridimensional de área de Producción	58
17.	Patrón de flujo de aire con 2 inyectores y 2 extractores.....	59
18.	Patrón de flujo de aire con 2 inyectores y extractor norte	60
19.	Patrón de flujo de aire con 2 inyectores y extractor sur.....	62
20.	Patrón de flujo de aire en planos Z-Y	63
21.	Trayectoria de partículas en el aire.....	64
22.	Edad media del aire	65
23.	Registro de mantenimientos.....	70

TABLAS

I.	Caudales para ventiladores eólicos industriales	29
II.	Componentes del aire	31
III.	Clasificación de salas limpias de acuerdo al número de partículas sólidas que se encuentran en el aire	32
IV.	Clasificación de filtros	35
V.	Selección de filtro en función de clasificación IDA/ODA	36
VI.	Parámetros climáticos promedio de Bárcena, Villa Nueva, Guatemala	40
VII.	Curva de ventiladores SB-2L42-20	44
VIII.	Caudal de aire exterior por persona.....	48
IX.	Renovación de aire en locales	49
X.	Tasa metabólica para distintas actividades	51
XI.	Concentración de CO ₂ en locales	55
XII.	Presión estática en los modelos	62
XIII.	Edad de partículas de muestra	64
XIV.	Repuestos y códigos identificados por equipo	71
XV.	Periodo entre falla registrada	71

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CFM	<i>Cubic feet per minute</i> (pie cúbico por minuto)
kPa	Kilopascal
m³/h	Metro cúbico por hora (caudal)
m³/s	Metro cúbico por segundo (caudal)
msnm	Metros sobre nivel del mar
μm	Micrómetro
mmca	Milímetro de columna de agua (presión)
ppm	Partes por millón
in	Pulgada
Met	Unidad de índice metabólico
W	Watt (potencia)

GLOSARIO

Check-list	Documento de inspección de mantenimiento con un listado de actividades a realizar.
Esterilización Comercial	Condición que se logra por aplicación de calor suficiente, solo o en combinación con otros tratamientos apropiados, con objeto de liberar a ese alimento de microorganismos capaces de reproducirse en él en unas condiciones normales no refrigeradas en las que se mantendrá probablemente el alimento durante su distribución y almacenamiento.
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points (Análisis de peligros y puntos críticos de control).
IDA	(<i>Indoor air</i>) calidad de aire interior.
Inocuidad	Concepto que implica que los alimentos no causarán daño al consumidor cuando se preparan o consumen de acuerdo a su uso previsto.
ODA	(<i>Outdoor air</i>) calidad de aire exterior.
Palmito	Cogollo comestible de esta planta, blanco, casi cilíndrico, de tres a cuatro centímetros de largo y uno de grueso.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación es un estudio de un sistema de ventilación general de una fábrica de alimentos en función de las regulaciones de varias normas y reglamentos. Se exponen los parámetros establecidos por el Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional de Guatemala, para aspectos de ventilación, y se complementan con el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios.

Para realizar el análisis del sistema, se recopila información de todos los elementos que se ven involucrados en el mismo, sus conceptos, funcionamiento y operación. De modo que puedan analizarse las aplicaciones específicas de los ventiladores, sistemas de extracción y filtrado de aire.

Se hicieron mediciones de campo para establecer referencias. Se estudiaron las zonas críticas de la estructura donde existen riesgos de ingreso de contaminación.

El cálculo del caudal de aire requerido para la ventilación se determina por diversos métodos teóricos. Posteriormente se crea un modelo tridimensional de la fábrica para producir una simulación computacional de los diferentes escenarios de ventilación y luego se estudia la edad del aire para determinar la eficiencia de la ventilación.

Para finalizar el estudio se complementa el trabajo con un plan de mantenimiento, donde se revisan las frecuencias de fallas, los repuestos

requeridos y se proponen rutinas de inspección para los equipos instalados en la fábrica.

Es importante aclarar que el estudio de ventilación y sus resultados no certifican la calidad del aire, esto lo debe hacer una entidad calificada y con equipo de medición especializado. De manera que los valores expuestos son solo referencias para fines de documentación.

OBJETIVOS

General

Proponer un estudio para la mejora del sistema de ventilación general, basado en requisitos de normas para plantas de alimentos.

Específicos

1. Conocer los fundamentos y métodos para calcular la ventilación de un recinto.
2. Analizar los diferentes tipos de ventilación que existen y establecer sus diferencias de aplicación.
3. Conocer los distintos elementos filtrantes para ventilación y sus características.
4. Calcular y diseñar un sistema de ventilación para una planta de producción.

INTRODUCCIÓN

La ventilación es uno de los elementos más importantes en el diseño de edificaciones para uso industrial. Factores como la humedad, temperatura y concentración de contaminantes son controlados por medio de la ventilación. Su correcta implementación asegura un ambiente higiénico y agradable para los trabajadores y reduce riesgos de contaminación de los productos.

Guatemala cuenta con un Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional implementado en julio de 2014, donde se dictan algunos parámetros de ventilación que deben ser cumplidos para garantizar la salud de los trabajadores. Sin embargo, no hay especificaciones técnicas para cada tipo de industria, por lo que, para este trabajo se investigaron distintos reglamentos internacionales que exponen los requisitos de ventilación para la industria de alimentos.

La apertura de los mercados internacionales para exportación de productos y la alta competitividad crean la necesidad de mejorar las condiciones y controles de los factores ambientales que puedan poner en riesgo la inocuidad de los productos. Normas internacionales como la FSSC 22000 exigen a las fábricas de alimentos un estricto control de sus procesos y sus condiciones ambientales, siendo uno de estos la calidad del aire y ventilación. Esto obliga a utilizar tecnología moderna para estudiar estas variables. Herramientas, como los software de cómputo dinámico de fluidos, ayudan mucho a los estudios de ventilación, ya que permiten visualizar eventos, que de otra forma no se podría; así, de la mano de cálculos y conocimiento teórico, se obtienen resultados que pueden demandar mejoras o modificaciones en el

sistema de ventilación y respaldar que los sistemas de ventilación sean los adecuados y que no se correrán riesgos.

El trabajo de graduación se compone de cinco capítulos, el primero expone la empresa de alimentos que será el modelo de estudio; su historia, sus normas y productos, así como una breve descripción al Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional.

El segundo capítulo describe toda la teoría de ventilación que se consideró pertinente para fundamentar el estudio de ventilación, clasificación de los tipos ventilación, clases de ventiladores, filtros y características de los mismos.

El tercer capítulo comprende todas las mediciones tomadas dentro de la fábrica y se muestran las variables medioambientales con que cuenta la zona.

En el cuarto capítulo se analiza el sistema de ventilación por métodos teóricos y se muestran los resultados de las simulaciones computarizadas para el estudio. El último capítulo es un breve análisis de las condiciones de los equipos instalados y se hace una propuesta para mantenimiento de los mismos.

1. GENERALIDADES

1.1. Historia de la empresa

Alimentos Montesol pertenece al Grupo Layta S.A. Es una empresa dedicada a producir y comercializar alimentos enlatados. Fue creada en el 2002, como un proyecto agrícola para la producción de palmito en salmuera para los mercados de Portugal y México.

A partir del 2004 se empezaron a desarrollar nuevos productos para diversificar la producción, produciendo actualmente palmito enlatado en salmuera, piña en almíbar, higo en almíbar, tamales en salmuera, salchichas en salmuera, pasta de tomate, entre otros. Siendo los productos de palmito y piña los de mayor importancia para la empresa. La mayor cantidad de producto fabricado por Alimentos Montesol es para exportación, cumpliendo con los estándares de calidad establecidos, según el mercado destino.

Alimentos Montesol está ubicada en dos distintos lugares, encontrándose el área de ventas y administración en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, y el área industrial (planta de transformación) en el kilómetro 1,3 sobre la carretera a Bárcenas, Villa Nueva. La distancia entre ambas ubicaciones no afecta el buen desempeño de los procesos, ya que hay una buena comunicación dentro de todas las áreas que forman la empresa.

El área industrial está formado por cinco áreas importantes que son: Administrativa, Aseguramiento de calidad, Producción, Mantenimiento y Despachos.

1.1.1. Política de calidad

“En Grupo Layta, S. A. están comprometidos a elaborar eficientemente productos alimenticios que cumplan con requisitos y normativas de calidad y tiempo de entrega acordados, haciéndolo bien desde la primera vez, a base de un sistema de gestión de calidad proactivo y de mejoramiento continuo, fomentando el involucramiento de cada uno de sus integrantes”¹.

1.1.2. Descripción del sistema de gestión de calidad e inocuidad

Es importante entender que un sistema de gestión es la manera en que una organización dirige y controla aquellas actividades que están asociadas con la calidad e inocuidad de un producto. El sistema tiene como prioridad mantener la inocuidad del producto sobre cualquier otra característica, de modo que se garantice cero riesgos físicos, químicos y bacteriológicos para los consumidores.

Todo proceso productivo es un sistema formado por personas, equipos y procedimientos de trabajo. El proceso genera una salida, que es el producto que se fabrica, la calidad e inocuidad del producto fabricado está determinada por sus características, es decir, por sus propiedades físicas, químicas, sensoriales y microbiológicas (en el caso de alimentos), que en conjunto determinan el aspecto y el comportamiento del mismo.

Por lo general, existen algunas características que son críticas para establecer la calidad e inocuidad de un producto. Normalmente se realizan

¹ Grupo Layta S.A., 2012

mediciones de estas características y se obtienen datos numéricos. El valor de una característica de calidad o inocuidad es un resultado que depende de una combinación de variables y factores que condicionan el proceso productivo.

El sistema de gestión de calidad e inocuidad vela por el cuidado de todos los elementos y acciones implicadas en la fabricación del producto. Existen controles de cloración y análisis microbiológicos del agua que se utiliza dentro de la planta; control de equipo y herramienta que se utiliza dentro de la planta y áreas de Producción y su debida desinfección; aseo del personal y equipo personal para entrar en contacto con los productos y monitoreo de limpieza en las áreas de trabajo; Controles de los ingredientes que se utilizan con sus debidos análisis, así como evaluaciones a los proveedores.

Otro aspecto que considera el sistema es el mantenimiento de la maquinaria y equipo dentro del área de Producción, así como los de suministros (agua, ventilación, energía eléctrica, vapor de agua y aire comprimido). También se vela por el mantenimiento de la infraestructura (paredes, techos, piso y tuberías) teniendo inspecciones rutinarias y un plan de mantenimiento preventivo que reduzca la posibilidad de poner en riesgo tanto la inocuidad como la calidad de los productos finales.

Todo el sistema está fundamentado en el sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control, conocido como HACCP, de allí se derivan todos los procedimientos y medidas que se implementan dentro y fuera de la planta. Estas medidas y sus resultados se analizan periódicamente para corroborar tanto su cumplimiento como su eficiencia en la reducción de riesgos que busca.

1.2. Productos enlatados

Dentro de los productos principales elaborados en Alimentos Montesol se encuentra: palmito en salmuera y piña en almíbar, en donde la mayor parte de la producción está destinada al mercado internacional y una pequeña parte al mercado nacional.

1.2.1. Palmito en salmuera

El producto conocido como palmito en salmuera, es obtenido de brotes terminales, sin cáscara y en trozos de varias especies de la palmera (*Bactris gasipaes*), sometidas a precocción, pelado, corte y selección para luego ser envasado en envases de hojalata y llenarlo con una salmuera acidificada, pasando luego a sellado con máquina y por último, proceso térmico en autoclave.

1.2.2. Piña en almíbar

La piña se encuentra dentro de la familia de las bromeliáceas, tal producto para Grupo Layta, S. A. es de suma importancia, ya que es la principal materia para la elaboración de enlatados de piña.

Para la aceptación de la piña en planta Layta debe cumplirse la Norma CODEX STAN 182-1993 (Norma del CODEX para la piña) donde establece que la materia prima debe tener los siguientes requisitos mínimos de calidad.

- Estar enteras
- Estar sanas y exentas de podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptas para su transformación

- Estar limpias y exentas de cualquier materia extraña (contaminantes físicos, químicos y microbiológicos)
- Estar con un grado de maduración ideal (75 % del fruto maduro) como requisito mínimo, ya que el fruto deberá ser fisiológicamente maduro, es decir, no presentar señales de falta de madurez (opacidad, falta de sabor, pulpa demasiado porosa) o de madurez excesiva (pulpa demasiado traslúcida o fermentada).
- Estar exentas de daños causados por altas o bajas temperaturas tales como: quemaduras en cáscara, deformidades fisiológicas, entre otros.
- Estar exentas de manchas oscuras internas.

1.3. Proceso de producción

El proceso de enlatado de piña y palmito inicia en el muelle de recepción de producto, donde se inspecciona y clasifica, luego se lava. Después de ser lavado ingresa a la planta de producción por medio de bandas transportadoras que pasan a través de compuertas con cortina. Dentro de la planta se procede a pelado (el palmito debe ser precocido), esta es una etapa crucial en términos de contaminación, pues el producto queda expuesto y puede ser contaminado por insectos, polvos u otras partículas suspendidas en el ambiente.

El siguiente paso es la transformación, se hacen los cortes para las diferentes presentaciones finales, esta etapa posee los mismos riesgos de contaminación que la anterior.

Luego de ser cortado el producto, se envasa en las latas y se envían a un proceso térmico por medio de túnel de vapor. Al salir del túnel de vapor se coloca la tapa de la lata y se sella en una máquina cerradora de latas específica para el tipo de lata. Posteriormente se ingresan las latas a una autoclave donde

se les aplica otro proceso térmico diseñado para producir esterilización comercial.

Paralelo al proceso de transformación y clasificación de productos, existe una línea encargada de la clasificación y limpieza de envase, la cual se encarga de inspeccionar las latas que serán llevadas a la línea de producción verificando que sean las latas indicadas para cada producto, así como la integridad de la lata para evitar problemas en el área de sellado.

1.4. Departamento de Mantenimiento

Tiene como función primordial mantener a disposición y en óptimas condiciones todos los equipos, maquinaria, redes de servicios e infraestructura que sean requeridos para el buen desempeño productivo de la fábrica. También vela por el correcto desempeño de los proveedores de servicios de mantenimiento, así como de los proveedores de insumos y repuestos. Cumple con rutinas de inspección de maquinaria e infraestructura y planifica los trabajos pertinentes. Debe cumplir con los procedimientos del sistema de inocuidad en todas las intervenciones que realice dentro de la planta de producción o zonas sensibles fuera de ella.

El taller cuenta con equipo, herramienta y una pequeña bodega de repuestos que cubren la mayor parte de las demandas de mantenimiento de la fábrica. Los registros de mantenimiento se llevan en una base de datos digital.

Este Departamento está formado por un encargado de mantenimiento y proyectos, un técnico especializado y un asistente de mantenimiento.

1.5. Normas nacionales de ambiente de trabajo

En Guatemala, desde 1958 se contaba con un Reglamento General de Higiene y Seguridad en el lugar de trabajo, publicado por el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS). Este reglamento carecía de especificaciones técnicas sobre las condiciones ambientales, como ventilación, temperatura y humedad dentro de un recinto. Dando referencias cualitativas que no garantizaban su evaluación ni cumplimiento de parte de los encargados de diseño y supervisión de seguridad laboral. El 23 de julio de 2014 se publica el Acuerdo Gubernativo 229-2014, donde se deja sin efecto el Reglamento General de Higiene y Seguridad en el lugar de trabajo, y se establece a través del Ministerio de Trabajo y el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, el Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional; documento que integra algunas normas del reglamento antiguo y proporciona especificaciones técnicas derivadas de diversos normativos internacionales de seguridad industrial y salud.

Referente al tema de ambiente de trabajo, el reglamento dicta en el Título IV, Capítulo I: “Condiciones higiénicas ambientales en el lugar de trabajo, Ambientes libres de humo en lugares de trabajo”. Los artículos 169 al 172 dan las especificaciones sobre ventilación.

Artículo 169. Todos los locales de trabajo deben contar con un sistema de ventilación que asegure la renovación del aire en relación con la calidad del perfil laboral y mantenga la temperatura en niveles tales que no resulte molesta o perjudicial para la salud de los trabajadores, si el proceso lo amerita.

Es prioridad el implementar el funcionamiento de un sistema que permita acondicionar el aire de tal modo que regule tanto la temperatura, la

ventilación y circulación de aire. Para que la ventilación sea suficiente debe ser mayor o igual a 50 m³ por hora y por trabajador; este debe ser calculado estimando una renovación de cuatro (4) a ocho (8) veces por hora en ambientes de oficina. La velocidad de circulación del aire para ambientes confortables debe prevalecer en 0.2 metro por segundo pero en ambientes calurosos debe situarse entre 0.5 y 1 metro por segundo.

En ningún caso el anhídrido carbónico o ambiental podrá sobrepasar la porción de 50 partes por cada 10 000 unidades y el monóxido de carbono de 1 parte por cada 10 000 unidades.

Se prohíbe emplear braseros, o sistemas de calor por fuera libre, salvo a intemperie y siempre que no impliquen riesgos de incendio o explosión.

Artículo 170. La renovación del aire puede hacerse mediante ventilación natural o artificial, debiendo tomarse en cuenta las condiciones siguientes:

- a) Número de trabajadores
- b) Naturaleza del proceso de trabajo
- c) Velocidad y entrada de aire.
- d) Humedad del ambiente
- e) Bienestar térmico de los trabajadores

Artículo 171. En aquellos centros de trabajo donde utilicen o emitan gases inflamables debe ser necesaria la ventilación y control para evitar que éstos alcancen sus límites de inflamabilidad.

Artículo 172. En los ambientes de trabajo contaminados o que por la misma naturaleza se emitan gases, polvos u otras sustancias que afectan las normas de calidad del aire, debe ser necesario contar con las suficientes aberturas tales como ventanas, puertas, ventilación general o localizada, rejas de retorno, campanas de evacuación; las cuales deben colocarse cerca de las fuentes de calor o de las fuentes de los contaminantes, para impedir cualquier escape hacia el conjunto general del aire. ²

En cuanto a los valores de humedad y temperatura, el nuevo reglamento no deja establecidos valores ni rangos que se deban cumplir, se menciona provisión de equipo y propiciar confort para los trabajadores.

² Guatemala. Reglamento de salud y Seguridad Ocupacional, Acuerdo Gubernativo 229-2014, título IV, Capítulo I.

2. CONCEPTOS BÁSICOS DE VENTILACIÓN

2.1. Ventilación

Es la sustitución de una porción de aire, que se considera viciado, por otra que aporta una mejora en pureza, temperatura, humedad, entre otros.

La ventilación se define en términos de caudal y presión, dependiendo de la aplicación. Un sistema de ventilación para extracción de gases contaminantes resulta distinto a uno dedicado a climatizar un ambiente.

El caudal es el volumen de aire que se desplaza en una unidad de tiempo, se utiliza m^3/h o CFM, por lo regular para los sistemas de ventilación. Se calcula multiplicando el área del ventilador o ducto de descarga por la velocidad promedio del aire desplazado.

La presión del recinto debido a la ventilación se establece por diversas configuraciones en los sistemas que se utilicen para ventilar. Si se requiere una presión mayor a la atmosférica se define como presión positiva o sobrepresión, mientras que si se requiere una presión inferior a la atmosférica se dice presión negativa o depresión.

Los objetivos principales de la ventilación industrial son: mantener la calidad y el movimiento de aire en los lugares de trabajo, mantener condiciones convenientes en el ambiente, reducción de olores y en el caso de la industria alimentaria y farmacéutica, reducir los riesgos de contaminación de sus

productos y trabajadores por agentes suspendidos en el aire. Cumplir con estos objetivos contribuye, además, a la salud de los trabajadores.

La ventilación industrial debe controlar una gran variedad de sustancias que pueden contaminar el aire en las áreas de trabajo, además de refrescar el ambiente debido al calor que generan los procesos dentro del local.

2.2. Tipos de ventilación

La ventilación puede ser clasificada por varios criterios, por el área que se desea ventilar o por el sistema que se utilice para generar ventilación. La elección del tipo de ventilación dependerá del local y las necesidades que haya que cumplir, de esta cuenta se tiene:

- Por zona a ventilar:
 - ventilación localizada
 - ventilación general
- Por sistema:
 - Ventilación natural
 - Ventilación forzada

2.2.1. Ventilación localizada

Se refiere a la extracción de algún gas en una zona focalizada para evitar su propagación por todo el recinto, se implementa un sistema de captación para controlar la propagación de los contaminantes y dirigirlo hacia la zona de descarga. Un ejemplo muy común es una cocina, donde se extrae el humo y los aromas despedidos desde la estufa.

Entre los aspectos que se deben tener en cuenta para calcular un equipo están:

- Identificar el foco de contaminación o emanación y el área que cubre.
- Analizar si el aire contaminado posee partículas sólidas.
- Temperatura del aire contaminado.

La campana de extracción debe cubrir por lo menos el área en donde se encuentra el foco de contaminación.

Si el aire posee partículas sólidas nocivas se debe filtrar antes de expulsarlo al ambiente.

El ventilador extractor debe ser capaz de mover el aire cargado de partículas sólidas y hacerlo pasar por el elemento filtrante.

La extracción debe hacerse de modo que las personas cercanas a la fuente estén expuestas lo menos posible a contaminación.

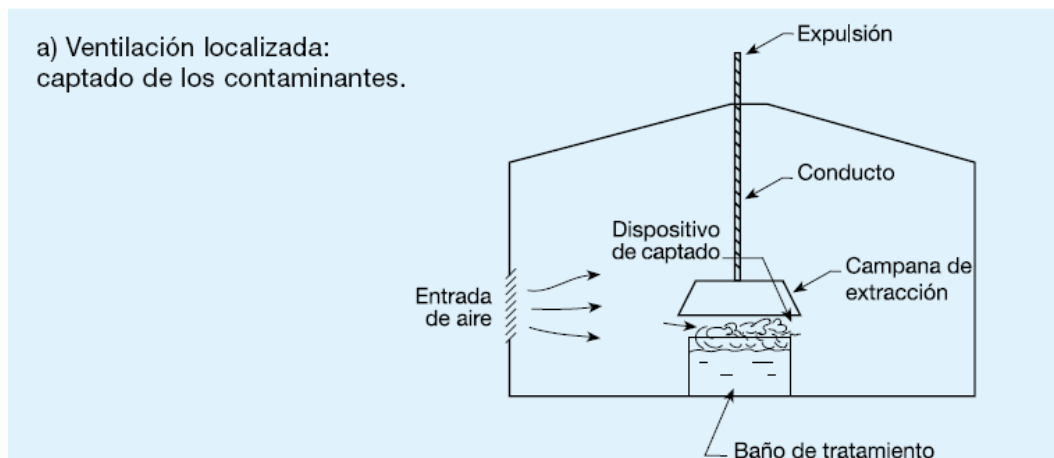
Existen tres tipos de sistema de captación: encerramientos, cabinas y campanas.

Los encerramientos son zonas delimitadas con pared y techo donde se centra la fuente de contaminación y trabajo, estas previenen la propagación de material que brote de la fuente de contaminación hacia otras áreas del local, también tienen la función de evitar ráfagas de viento que puedan contaminar o perjudicar el trabajo en el caso de los encerramientos para pintura o soldadura.

Las cabinas son similares a los encerramientos, excepto por la omisión de una pared o una abertura en una de ellas por donde acceden operarios y equipos. Las cabinas son utilizadas en procesos de laboratorio, trabajos de pintura especial, tratamiento de piezas con químicos en talleres y operaciones de pulido. El diseño de la cabina debe cubrir por completo la zona de emisiones y su extractor debe ser lo suficientemente potente para extraer los contaminantes y generar un caudal hacia adentro de la cabina que evite que haya propagación fuera de esta.

Las campanas de captación no encierran la fuente del todo, se localizan cerca de la fuente de emisiones y se aspira hacia la campana. Las campanas se pueden clasificar por tiro lateral o posterior, de ranuras, de tiro inferior y campanas de alta velocidad con bajo volumen.

Figura 1. **Ventilación localizada**



Fuente: S&P. *Ventilación total*. p. 24

2.2.2. Ventilación general

Es un sistema que se encarga de renovar el volumen de aire completo de un recinto, calculado para diluir los contaminantes y reducir sus concentraciones a valores inferiores a los límites permisibles. En este tipo de ventilación el aire puede ingresar de forma natural y ser extraído de forma mecánica (depresión) o ser inducido de forma mecánica y extraído de forma natural o un sistema completamente mecánico.

Este tipo de ventilación es aplicable cuando existen varias fuentes de contaminación dispersas, o cuando existen fuentes móviles. Su aplicación está limitada por la toxicidad que al superar ciertos valores, se requieren caudales de aire que no son factibles técnica o económicamente.

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

- Asegurarse previamente de que la solución por ventilación localizada es técnicamente imposible.
- Tener en cuenta que puede aplicarse a contaminantes de baja toxicidad, de rápida difusión, pequeños flujos de emisión y siempre que el personal laboral está alejado de los focos emisores.
- Forzar un flujo general de las zonas limpias a las zonas contaminadas.
- Intentar hacer pasar el máximo de aire por las zonas contaminadas.
- Evitar las zonas de flujo muerto.
- Compensar las salidas de aire por las correspondientes entradas de aire.
- Evitar corrientes de aire.

- Utilizar los movimientos naturales de los contaminantes, en especial de las zonas calientes en su efecto ascensional.
- Utilizar, preferentemente, una instalación con introducción y extracciones mecánicas.
- Utilizar extracción mecánica y entrada natural.
- No se debe considerar una instalación de ventilación general para resolver problemas con material pulverizado debido a que este presenta dificultades de difusión.

En la ventilación general se deben considerar los siguientes elementos:

- Volumen del recinto
- Número de personas
- Actividad que se realiza

2.2.3. Ventilación natural

Se identifica como la utilización de las diferencias de presión y temperatura del recinto con el ambiente, o aprovechando la energía cinética del viento para generar un movimiento de aire a través de distintas aberturas diseñadas para este fin.

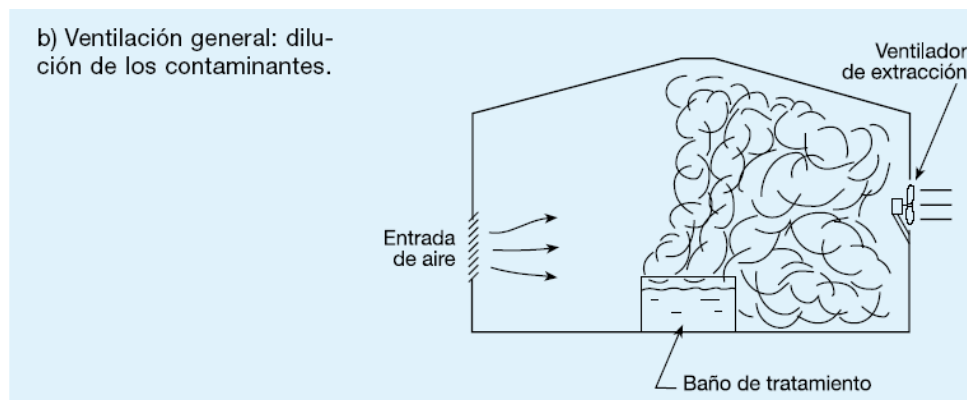
2.2.4. Ventilación forzada

Esta ventilación implica la implementación de equipo mecánico para cumplir su fin. Es regulable y no depende de las condiciones climáticas para funcionar.

La implementación de ventilación forzada requiere considerar lo siguiente:

- Volumen del recinto
- Número de personas
- Actividad que se realiza
- Nivel de ruido permisible
- Calidad del aire

Figura 2. **Ventilación general**



Fuente: S&P. *Ventilación total*. P. 24

2.3. Ventilador

Un ventilador es una máquina de fluido diseñada para producir una corriente de aire

“Máquina rotativa que imparte energía a una corriente de aire y por medio de uno o más rotores equipados con aspas mantienen un caudal casi continuo con un incremento de presión del ventilador que normalmente no supera los 30kPa (120 in. wg)

Nota: el límite de presión corresponde aproximadamente a un trabajo específico del ventilador de 25 kJ/kg³".

Se utiliza para desplazar aire o gas de un lugar a otro, dentro de o entre espacios, para usos industriales o residenciales. Un ventilador, también es la turbomáquina que absorbe energía mecánica y la transfiere a un gas, proporcionándole un incremento de presión no mayor de 1mmca aproximadamente, por lo que da lugar a una variación muy pequeña del volumen específico y suele ser considerada una máquina hidráulica.

En energía, los ventiladores se usan, principalmente, para producir flujo de gases de un punto a otro; es posible que la conducción del propio gas sea lo esencial, pero también en muchos casos, el gas actúa solo como medio de transporte de calor, humedad, o de material sólido, como cenizas, polvos, u otros contaminantes.

Un ventilador consta en esencia de un motor de accionamiento, generalmente eléctrico, con los dispositivos de control propios de los mismos: arranque, regulación de velocidad, conmutación de polaridad y un propulsor giratorio en contacto con el aire, al que le transmite energía. Este propulsor adopta la forma de rodete con álabes, en el caso del tipo centrífugo, o de una hélice con palas de silueta y en número diverso, en el caso de los axiales.

2.4. Leyes de los ventiladores

Las leyes de los ventiladores son un conjunto de ecuaciones que determinan la relación de diversos parámetros de un ventilador al que se le ha

³ Air Movement and Control Association. *AMCA Standard 205-10*. Sección 3.1. p.1.

hecho ensayos de laboratorio con un ventilador de las mismas características y geoméricamente similar pero sometido a diferentes condiciones de trabajo.

Este método ayuda a resolver de forma práctica los problemas de implementación de un ventilador al que no se le conocen todas sus prestaciones. Las ecuaciones están fundamentadas en las leyes de la mecánica de fluidos y son aplicables en diferenciales de presión no mayores a 3kPa ya que al superar este valor se debe tomar en cuenta la compresibilidad del gas.

Las variables de un ventilador son: diámetro de hélice, velocidad de rotación, presión estática, presión dinámica, presión total, caudal, densidad del gas, potencia y nivel sonoro.

En función de la variación del diámetro:

$$Q = Q_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^3 \quad \text{[Ecuación 1]}$$

$$p_f = p_{f0} \left(\frac{D}{D_0} \right)^2 \quad \text{[Ecuación 2]}$$

$$P = P_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^5 \quad \text{[Ecuación 3]}$$

En función de la variación de velocidad:

$$Q = Q_0 \left(\frac{n}{n_0} \right) \quad \text{[Ecuación 4]}$$

$$p_f = p_{f0} \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \quad \text{[Ecuación 5]}$$

$$P = P_0 \left(\frac{n}{n_0} \right)^3 \quad \text{[Ecuación 6]}$$

En función de la variación de la densidad:

$$Q = Q_0 \quad \text{[Ecuación 7]}$$

$$p_f = p_{f0} \frac{\rho}{\rho_0} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

$$P = P_0 \frac{\rho}{\rho_0} \quad \text{[Ecuación 9]}$$

Donde:

Q: caudal (m³/s)

D: diámetro de hélice (metros)

P_f: presión de ventilador (kPa)

P: potencia (Watts)

n: velocidad angular (rad/s)

ρ: densidad del gas (kg/m³)

El índice subcerro (0) indica los valores conocidos de referencia.

La ecuación 1 representa la relación de caudal respecto del diámetro de hélice. La ecuación 2, la relación de presión y la ecuación 3, la relación de potencia.

Las ecuaciones 4, 5 y 6 demuestran la variación que sufre el caudal, la presión y la potencia en función de las revoluciones del ventilador respectivamente.

Así, las ecuaciones 7, 8 y 9 son con respecto a la densidad del gas que va a mover.

Existen otras ecuaciones que integran diferentes parámetros en una sola relación, estas ecuaciones son prácticas cuando se busca un parámetro,

tomando valores establecidos previamente y se cuentan con datos de referencia de otro ventilador.

Variación de varios parámetros:

$$Q = Q_0 \left(\frac{D}{D_0}\right)^3 \frac{n}{n_0} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

$$P = P_0 \left(\frac{D}{D_0}\right)^5 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 \frac{\rho}{\rho_0} \quad \text{[Ecuación 11]}$$

$$p_f = P_{f0} \left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \left(\frac{n}{n_0}\right)^2 \frac{\rho}{\rho_0} \quad \text{[Ecuación 12]}$$

Variación de varias prestaciones:

$$D = D_0 \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^{1/2} \left(\frac{p_f}{p_{f0}}\right)^{1/4} \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{1/4} \quad \text{[Ecuación 13]}$$

$$n = n_0 \left(\frac{Q_0}{Q}\right)^{1/2} \left(\frac{p_f}{p_{f0}}\right)^{3/4} \left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)^{3/4} \quad \text{[Ecuación 14]}$$

$$P = P_0 \frac{Q}{Q_0} \frac{P}{P_0} \quad \text{[Ecuación 15]}$$

2.5. Tipos de ventiladores

La clasificación de los ventiladores se ha ido estableciendo en base a muchos criterios y no se establece una forma única de separarlos, por lo que se referirá a las cinco clasificaciones más usadas.

2.5.1. Por su función

- Ventiladores con envolvente

Que suele ser tubular. A su vez pueden ser:

- Impulsores: Entrada libre, salida entubada.
- Extractores: Entrada entubada, descarga libre.
- Impulsores-Extractores: Entrada y salida entubadas.

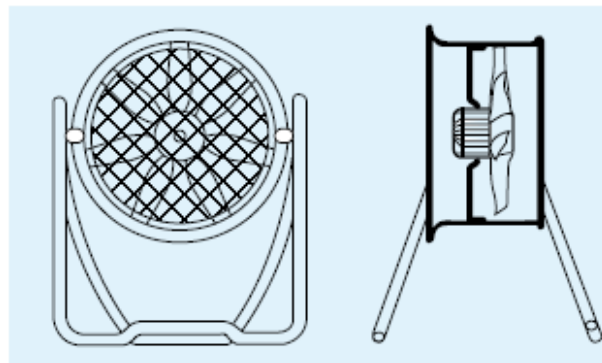
- Ventiladores murales o de pared

Conocidos también como simplemente extractores, tienen la función de trasladar aire entre dos espacios separados por un muro o pared.

- Ventiladores de chorro

Usados para proyectar una corriente de aire incidiendo sobre personas o puntos focalizados.

Figura 3. **Ventilador de chorro**



Fuente: S&P. *ventilación total*. p.40

2.5.2. Por la trayectoria del aire

- Ventiladores centrífugos

En estos aparatos, la trayectoria del aire sigue una dirección axial a la entrada y paralela a un plano radial a la salida. Entrada y salida están en ángulo recto. El rodete de estos aparatos está compuesto de álabes que pueden ser hacia adelante (figura 4a), radiales (figura 4b) o hacia atrás (figura 4c).

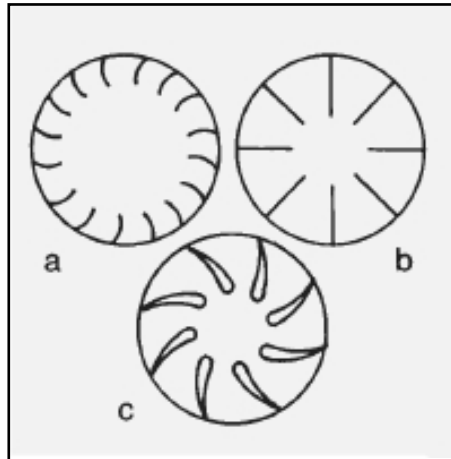
Quinchía R. y Puerta, en *Manual de ventilación industrial*, indican que los ventiladores de aletas hacia adelante son apropiados para bajas velocidades y las aletas para atrás son para altas velocidades, ya que la presión generada por un ventilador es en función del movimiento o velocidad frontal del aire en la punta de la aleta.

- Ventiladores axiales

Estos ventiladores transmiten la energía al aire por medio de un movimiento de giro en remolino provocado por el rotor. El movimiento de aire se realiza conservando la dirección del eje de este.

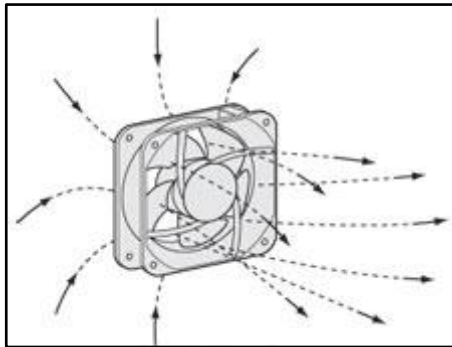
El ventilador axial se usa para mover grandes cantidades de aire en espacios abiertos. Tienen alta eficiencia mecánica (cerca del 95 %) pero no vencen caídas de presión muy altas, (50 a 245 Pa), por esa razón se utilizan principalmente en ventilación general, ya sea como inyectores o extractores de aire.

Figura 4. **Disposición de álabes en ventiladores centrífugos**



Fuente: S&P. *Manual práctico de ventilación*. p.40

Figura 5. **Ventilador axial**



Fuente: Oriental Motor. <http://www.orientalmotor.com/images/mainContent/fan-axial-flow.jpg>.

Consulta: febrero 2014.

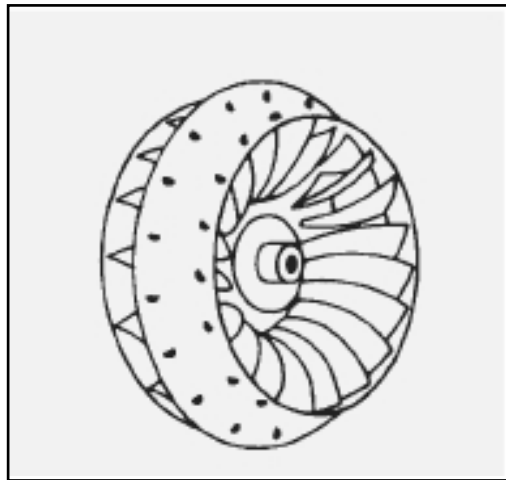
- Ventiladores transversales

La trayectoria del aire en el rodete de estos ventiladores es normal al eje tanto a la entrada como a la salida, cruzando el cuerpo del mismo.

- Ventiladores helicocentrífugos

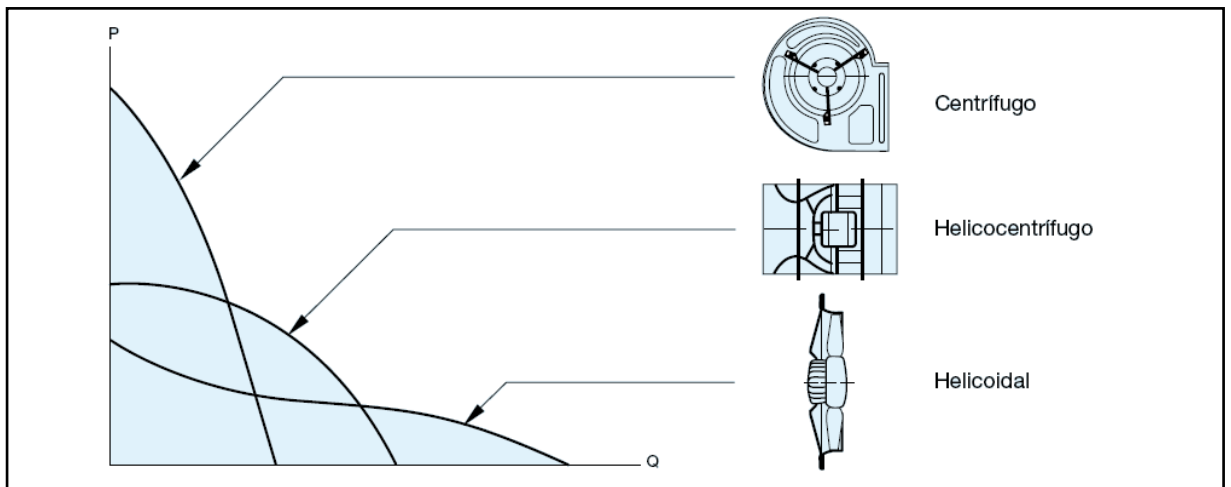
El aire entra como en los axiales y sale igual que en los centrífugos.

Figura 6. **Ventilador helicocentrífugo**



Fuente: S&P. *Manual práctico de ventilación*. p. 40

Figura 7. **Curvas características de ventiladores**



Fuente: Soler & Palau. *Manual de ventilación capítulo 4*. p.43.

La curva característica de un ventilador muestra la relación que hay entre el caudal y la presión que es capaz de producir un ventilador, esta curva debe ser tomada en cuenta para la toma de decisiones al momento de instalar un equipo de ventilación.

Como se puede observar en la figura 7, se representa la curva comparativa entre tres diferentes tipos de ventilador de potencias y áreas iguales. Los ventiladores centrífugos consiguen elevadas presiones pero un bajo caudal. Característica importante para sistemas de sobrepresión o depresión. Por otro lado los helicoidales o axiales producen un mayor caudal con baja carga de presión. Y al medio se encuentran los helicocentrífugos, ventiladores de aplicaciones especiales que poseen un buen caudal acompañado de buena carga de presión estática.

2.5.3. En función de la presión

- Ventiladores de baja presión

Se llaman así a los que no alcanzan los 70 Pascales. Suelen ser centrífugos y se designan así los utilizados en climatizadores.

- De mediana presión

Si la presión está entre los 70 y 3000 Pa. pueden ser centrífugos o axiales.

- De alta presión

Cuando la presión está por encima de los 3000 Pa. suelen ser centrífugos con rodets estrechos y de gran diámetro.

2.5.4. Basado en sus condiciones de funcionamiento.

- Ventiladores estándar

Son los aparatos que mueven aire sin cargas importantes de contaminantes, humedad, polvo, partículas agresivas y temperaturas máximas de 40 °C si el motor está en la corriente de aire.

- Ventiladores especiales

Son los diseñados para tratar el aire caliente, corrosivo, húmedo, entre otros, o bien para ser instalados en el tejado o dedicados al transporte neumático.

2.5.5. Atendiendo al sistema de accionamiento

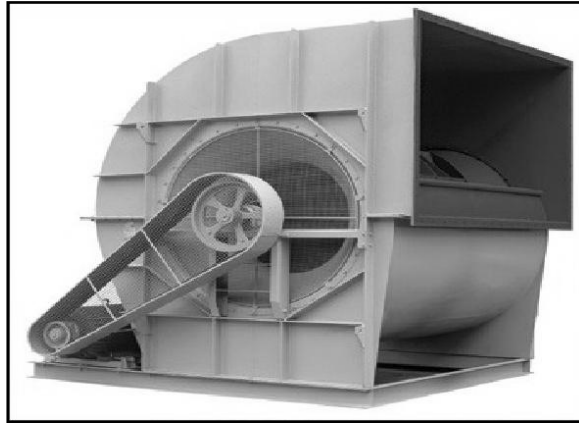
- Accionamiento directo

Cuando el motor eléctrico tiene el eje común, o por prolongación, con el del rodete o hélice del ventilador.

- Accionamiento por transmisión

Como es el caso de transmisión por correas y poleas para separar el motor de la corriente del aire (por caliente, explosivo, entre otros).

Figura 8. **Ventilador con transmisión por correa**



Fuente: BURCHARD, Lucas. *Ventilación en locales de alimentos*. p.40.

2.6. **Extractores de tipo eólico**

Son equipos mecánicos implementados para mejorar la ventilación natural, utilizan tanto la velocidad del viento del exterior como la diferencia de temperatura en el aire del recinto para girar y de esa manera aumentar el cambio de presión y liberar el aire caliente, vapores o humos dentro del recinto.

La eficiencia de estos equipos depende, de la velocidad del viento y del desplazamiento de la masa de aire en el recinto, por lo que para lugares con alturas bajas o áreas de flujo de aire restringido no resultan viables.

El extractor está constituido por las siguientes partes:

- Base: adapta el extractor a cualquier tipo de techo: chapa, fibrocemento, loza y otros. Parabólico, con pendiente, salidas laterales. Está construida en chapa galvanizada y estañada, con nervadura superior para encastramiento del extractor.

- Extractor eólico: consta de una parte giratoria accionada por el viento y una parte fija que lo asegura a la base. Álabes de aluminio o chapa galvanizada con nervaduras longitudinales que le otorgan mayor rigidez. Ejes de Acero con rodamientos que estabilizan el extractor. .
- Regulador de flujo: compuerta instalada en la parte inferior de la base que regula el paso del aire. Se opera con cadena desde el interior o con llave desde el exterior.

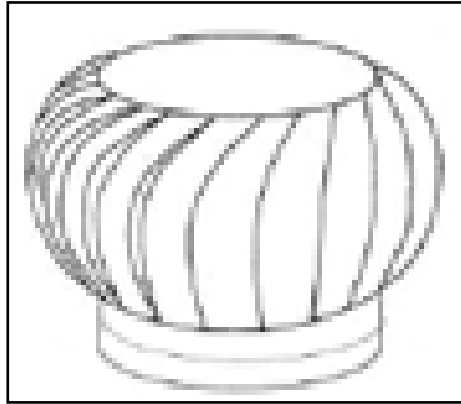
La capacidad de aspiración de estos ventiladores depende directamente de los factores ambientales, dado que no poseen una fuente regulable de energía para moverlos, se debe hacer mediciones en el lugar para estimar los caudales de extracción de cada ventilador. La tabla I muestra algunos caudales estimados para una velocidad de viento de 10km/h

Tabla I. **Caudales para ventiladores eólicos industriales**

MODELO	Diámetro de Aspiración	Caudal m ³ / h
E - 16	380 mm	2.800
E - 20	480 mm	4.000
E - 24	600 mm	5.600
E - 30	750 mm	7.500

Fuente: Ecosistema. <http://www.extractoreseolicos.com.ar>. Consulta: febrero 2014.

Figura 9. **Extractor tipo eólico**



Fuente: Ecosistema. <http://www.extractoreseolicos.com.ar>. Consulta: febrero 2014

2.7. Calidad del aire

Son los parámetros de contaminación que puede tener el aire para un fin específico. En el caso del aire para ventilación, se refiere a la cantidad y tamaño de partículas sólidas que pueden estar suspendidas en el aire, así como otros gases que estén presentes, sin que afecten la salud del personal ni la inocuidad del producto.

El aire se considera una fuente de contaminación al ser un vehículo muy propicio para el arrastre de partículas, tanto físicas, químicas, como microbiológicas, que pueden causar problemas de calidad en los productos y causar enfermedades al personal operativo o incluso tener repercusiones en la salud del consumidor final.

El cumplimiento de los requerimientos de calidad del aire que se inyecta a un local va de la mano con la cantidad de aire y su distribución, para lograr la garantía de que no se está recirculando aire contaminado y que el volumen de

aire es el adecuado para diluir la contaminación intrínseca de los procesos de producción, como la respiración humana.

La tabla II muestra los componentes fundamentales del aire puro o atmosférico. Este no toma en cuenta las partículas o fibras suspendidas en él.

Tabla II. **Componentes del aire**

Componentes del Aire seco (1,2928 kg/m ³ , a 0 °C, 760 mmHg)			
	Símbolo	En volumen %	Contenido en el aire g/m³
Nitrógeno	N ₂	78,08	976,30
Oxígeno	O ₂	20,94	299,00
Argón	Ar	0,934	16,65
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,0315	0,62
Otros		0,145	0,23
		100,000	1 292,8

Fuente: UNAM. *Unidad 2, curso de fisicoquímica.*

2.8. Clases de locales

La ventilación de un local o zona debe ser de acuerdo a las actividades que se realizan y definir la calidad de aire que se requiere. Un cuarto limpio es un espacio donde se restringe la cantidad de partículas en el aire y se regulan factores como temperatura, presión y humedad, de modo que se reduzcan los riesgos de contaminación cruzada.

Existe una clasificación de la Norma ISO para los locales o zonas limpias, tomando en consideración el tamaño y número de partículas o fibras que puede haber por cada volumen de aire.

Tabla III. **Clasificación de salas limpias de acuerdo al número de partículas sólidas que se encuentran en el aire**

Número de clasificación ISO (N)	Límite máximo de concentración de partículas (partículas/m ³ de aire) para partículas iguales a y mayores que los tamaños considerados mostrados abajo.					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO Class 1	10	2				
ISO Class 2	100	24	10	4		
ISO Class 3	1 000	237	102	35	8	
ISO Class 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO Class 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO Class 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO Class 7				352 000	83 200	2 930
ISO Class 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO Class 9				35 200 000	8 320 000	293 000

Fuente: Norma ISO 14644-1:1999 sección 2.4.

En función del uso del edificio o local, la categoría de calidad de aire interior (IDA) que se deberá alcanzar será, como mínimo, la siguiente:

IDA 1 (aire de óptima calidad): hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.

IDA2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares residencias de ancianos y estudiantes), salas de lectura, museos, aulas de enseñanza y asimilables, y piscinas.

IDA3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.

IDA4 (aire de baja calidad)

La calidad del aire exterior (ODA) se clasificará de acuerdo con los siguientes niveles:

ODA 1: aire puro que puede contener partículas sólidas (p.e. polen) de forma temporal.

ODA 2: aire con altas concentraciones de partículas.

ODA 3: aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos.

ODA 4: aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas.

ODA 5: aire con muy altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas⁴.

2.9. Filtrado del aire

El aire en general posee partículas suspendidas en él. Estas partículas pueden ser polvo o fibras producidas por algún proceso o ser parte del ambiente, las cuales pueden ser un riesgo para la inocuidad de los productos o para la salud de las personas en el área de trabajo.

La necesidad de reducir y controlar la cantidad de partículas que puede haber en el aire dentro del recinto lleva a la necesidad de utilizar elementos filtrantes o filtros, que retienen en su interior partículas, fibras y elementos ajenos al aire que deseamos dentro del recinto.

Los filtros de celulosa, de fibras y fibras de vidrio son los dispositivos que se utilizan más a menudo para la eliminación de partículas. La eficiencia

⁴ATECYR. *Reglamento de instalaciones térmicas* RITE IT 1.1.4.2.2. p. 24.

colectora de masa, la eficiencia colectora para partículas del orden micrón y la caída de presión son todos los factores que influyen en la evaluación del filtro.

Existen algunas pruebas estándar para la evaluación del funcionamiento de un filtro certificadas por ASHRAE.

El peso de detención equivale a la eficiencia colectora de masa para un polvo sintético normal.

La prueba de penetración DOP (di-octil-ftalato) mide el porcentaje de penetración a través del filtro de partículas DOP, de 0,3 μm .

La prueba de eficiencia de la mancha de polvo mide la relación del cambio de luz en los filtros de muestreo de fibra de vidrio, flujo arriba y flujo abajo del filtro que se ensaya.

La prueba de retención de polvo mide la cantidad integrada de polvo retenido en el filtro hasta el momento en que se termina la prueba, ya sea a la máxima caída de presión especificada por el fabricante o cuando dos mediciones consecutivas están por debajo del 85 % de la máxima eficiencia colectora de masa.

Tabla IV. Clasificación de filtros

Filtro	Propiedades generales	Clase		Efectividad	Aplicaciones
Filtro básico o prefiltro	En general: -Fabricado en fibras sintéticas -Eficiente para partículas > 4,5 mm Velocidad de aire < 2.5 m/s - Inicio de caída de presión aproximadamente a 50 Pa - Final de caída de presión aproximadamente a 150 Pa	EU1	G1	Protege contra insectos y fibras. Efecto limitado contra polen (<70%) Inefectivo contra humos	Unidades de ventana Intercambiadores de Calor Calentadores de aire Filtros para fibra de industria textil
		EU2	G2	Efectivo contra gran cantidad de polen (>85%) y polvo atmosférico de tamaño mayor Efecto limitado contra polvo y partículas de hollín	Unidades de enfriamiento y calefacción de transformadores eléctricos. Garages, naves industriales, oficinas en la industria
		EU3	G3	Efectivo contra gran cantidad de polen (>85%) y polvo atmosférico de tamaño mayor Efecto limitado contra polvo y partículas de hollín	Unidades de enfriamiento y calefacción de transformadores eléctricos. Garages, naves industriales, oficinas en la industria
		EU4	G4	Efecto limitado contra polvo y partículas de hollín	Además de los EU3 Cocinas y talleres de pintura en spray
Filtros finos	En general: - fabricado con fibras de vidrio - eficiente con partículas > 0.1 mm - velocidad de aire < 2- 3 m/s - inicio de caída de presión 50-100 Pa - Fin de caída de presión 200 -250 Pa	EU5	M5	Efectivo contra polen y polvo atmosférico fino. Efecto considerable contra humos. Sin efecto contra el humo de tabaco.	Iglesias, salones deportivos, tiendas por departamentos, escuelas, hoteles y almacenes de comida.
		EU6	M6	As EU5	As EU5
		EU7	F7	Efectivo contra el polen y hollín	como EU6 Industrias de alimentos, laboratorios, teatros, Salas de hospital, cuarto de datos
		EU8	F8	Muy efectivo contra el hollín y el polvo. Muy efectivo contra bacterias. Efectivo contra humo de tabaco..	Salas de operación, Áreas de producción de equipo óptico y electrónico sensible. Salas de evaluación de hospitales.
		EU9	F9	As EU8	As EU8
Micro filtros	En general: - fabricado con fibras de vidrio y separadores de papel, plástico o aluminio. -eficiente para partículas > 0.01 mm - velocidad del aire < 0.5 - 1.0 m/s - Inicio de caída de presión 250 Pa - final de caída de presión depende del tiempo de vida	EU10	E10		
		EU11	E11		
		EU12	E12		
		EU13	H13		
		EU14	H14		

Fuente: The engineering toolbox. <http://tiny.cc/5hq23y>. Consulta: noviembre 2012.

Consulta: octubre 2014.

Tabla V. **Selección de filtro en función de clasificación IDA/ODA**

Filtración de partículas				
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
Filtros previos				
ODA 1	F7	F6	F6	G4
ODA 2	F7	F6	F6	G4
ODA 3	F7	F6	F6	G4
ODA 4	F7	F6	F6	G4
ODA 4	F6/GF/F9*	F6/GF/F9*	F6	G4
Filtros finales				
ODA 1	F9	F8	F7	F6
ODA 2	F9	F8	F7	F6
ODA 3	F9	F8	F7	F6
ODA 4	F9	F8	F7	F6
ODA 5	F9	F8	F7	F6

(*) Se deberá prever la instalación de un filtro de gas o un filtro químico (GF) situado entre las dos etapas de filtración. El conjunto de filtración F6/GF/F9 se pondrá, preferentemente, en una Unidad de Pretratamiento de Aire (UPA).

Fuente: ATECYR. *Reglamento de instalaciones térmicas RITE*. p.48

3. CONDICIONES ACTUALES

Se describen a continuación las características del edificio y su entorno y la delimitación para considerar los tipos de contaminantes que puede haber en el aire y que haya riesgo de inyectar a la planta de producción.

La planta está debidamente delimitada de la siguiente manera:

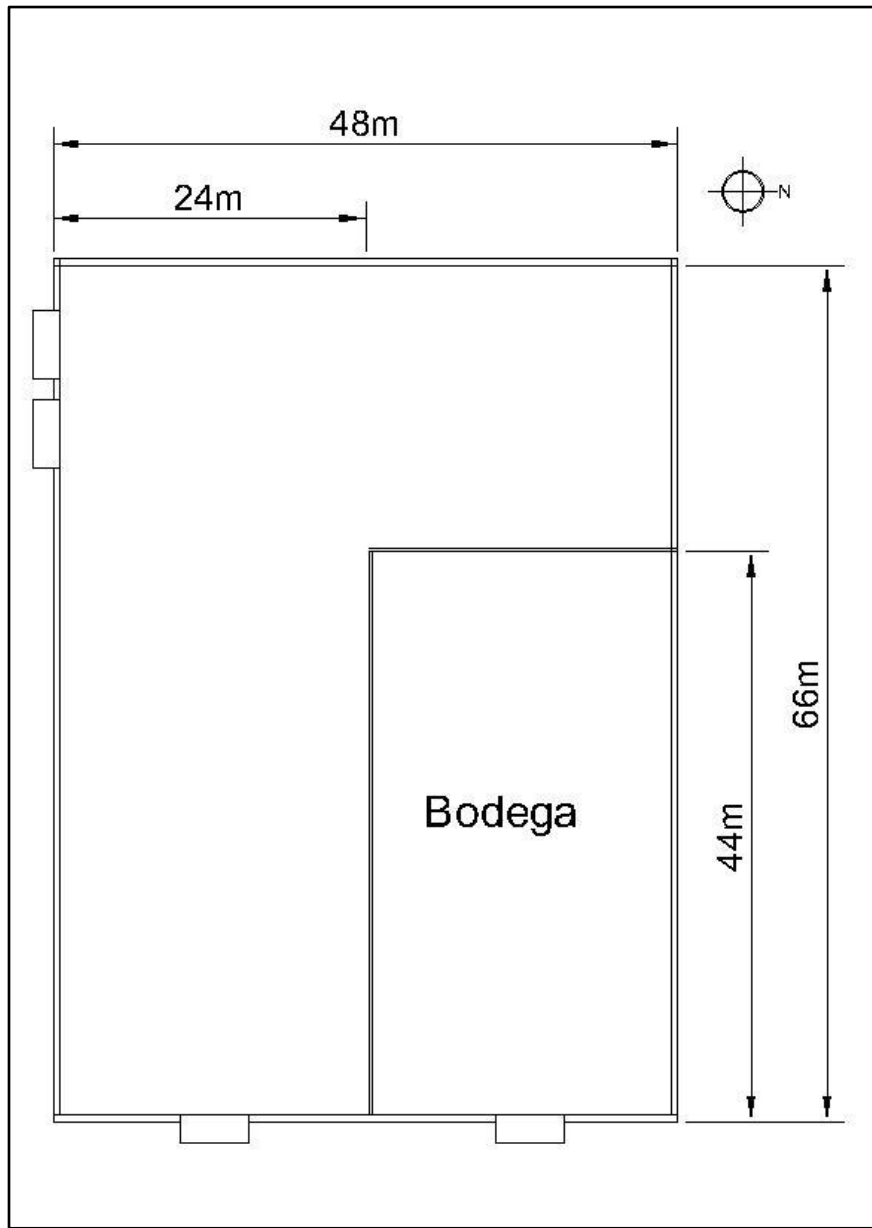
- Norte: terreno sin uso ni construcciones, con un área de aproximadamente 5 hectáreas con pasto y escasos árboles. La planta está separada físicamente por malla de alambre.
- Sur: carretera hacia Bárcena, Villa Nueva. Escuela Nacional Central de Agricultura. La planta está separada físicamente por muro perimetral.
- Este: colonia residencial Altos de Bárcenas 1. La planta está separada físicamente con muro perimetral que pertenece a la colonia.
- Oeste: terreno sin construcciones, parte del terreno es utilizado para acumulación y secado de materiales orgánicos rechazados, provenientes de la línea de envasado de palmito. En esta parte está el portón de acceso y la garita de control.

El terreno circundante al edificio posee casi en su totalidad vegetación, pasto y monte para ser específico, por lo que se percibe una baja cantidad de polvo de tierra en el aire. Las fuentes de contaminación más cercanos a los inyectores de aire son: la chimenea de la caldera que produce humo de la

quema de leña; y los vehículos que transitan por la carretera, siendo en su mayoría el transporte pesado.

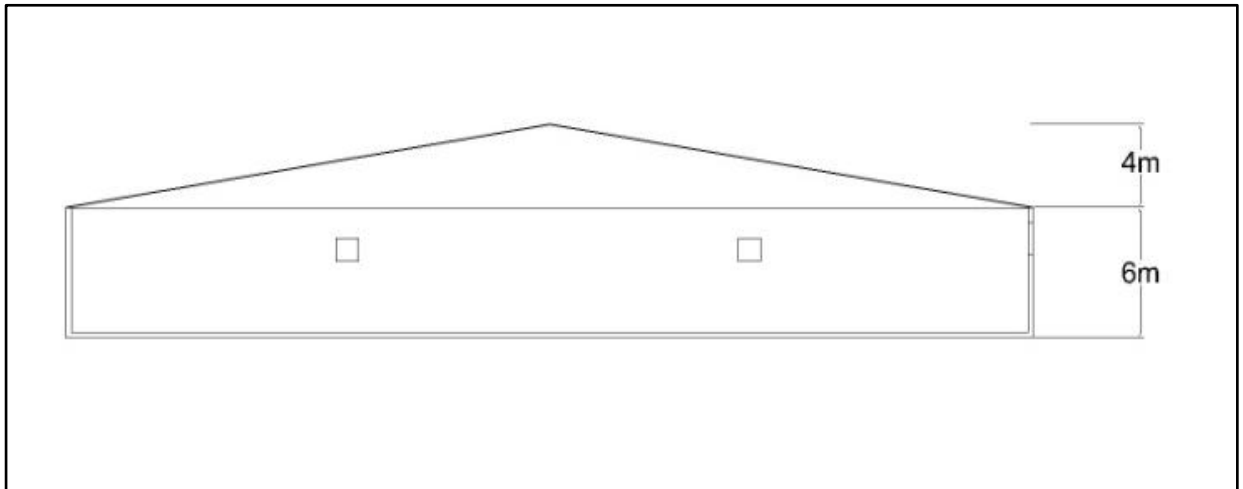
Figura 10. **Croquis de edificio de producción**

Vista de planta



Continuación figura 10.

Vista de elevación



Fuente: Alimentos Montesol.

3.1. Registro de variables ambientales

Recopilación de datos de temperatura ambiental, altitud humedad dentro de la fábrica y temperatura en interiores. Datos que servirán de referencia para cálculos.

- Altitud

La altura registrada para el área donde se ubica la fábrica de Alimentos Montesol es de: 1 418 metros sobre el nivel del mar.

- Temperatura en exteriores

En la tabla VI se muestran las temperaturas promedio registradas durante el año en la región de Villa Nueva.

Tabla VI. **Parámetros climáticos promedio de Bárcena, Villa Nueva, Guatemala**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temp. máxima absoluta (°C)	27	29	30	33	31	30	29	29	29	28	28	28	29
Temp. máxima media (°C)	21	23	25	25	25	23	23	23	22	22	22	21	22
Temp mínima media (°C)	8	10	13	15	16	16	16	15	15	13	11	9	13
Temp. mínima absoluta (°C)	-3	2	4	7	9	10	11	10	7	6	3	-1	6
Precipitación total (mm)	2.0	1.1	11.7	50.9	141.9	211.8	415.1	278.3	220.2	165.9	32.0	2.5	1533.4

Fuente: INSIVUMEH, reporte del año 2012.

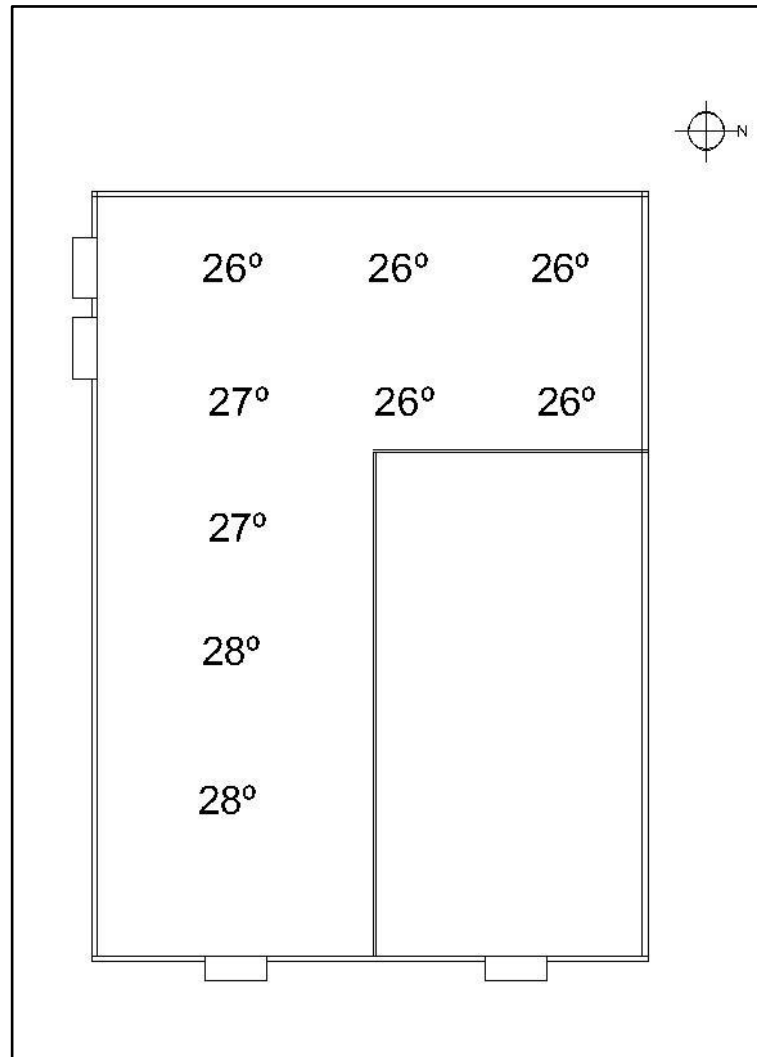
- **Temperaturas interiores**

Se hizo una medición de campo dentro de la planta en un día normal de producción, produciendo palmito enlatado en sus varias presentaciones, con los sistemas de vapor activos, con un aproximado de 50 personas. La toma de temperaturas fue llevada a cabo a las 13:00 horas.

Se utilizaron dos termómetros; uno de mercurio y uno digital para referencia en grados Celsius

La figura 11 muestra la distribución de temperatura dentro del área de Producción, se observa que el área con mayor temperatura es el ala oeste, donde se encuentran los túneles de vapor.

Figura 11. **Temperaturas en el área de Producción**



Fuente: elaboración propia, empleando LibreCad

- **Humedad**

La humedad promedio registrada en el área de producción fue de 73 %.

Se utilizó un higrómetro analógico, la medición se hizo a 1,9 m de altura y fue hecha en los mismos puntos donde se realizó la medición de temperatura.

3.2. Sistema de ventilación

La planta cuenta con 2 ventiladores axiales, como inyectores de aire, y 2 ventiladores axiales, como extractores de aire; todos marca Greenheck, empotrados a la pared.

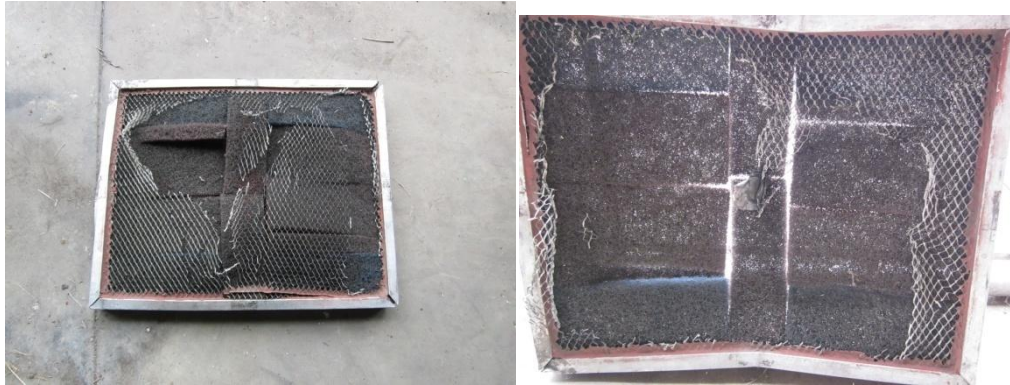
Los inyectores son ventiladores de 42 pulgadas de diámetro propulsados por un motor de 2 hp. Con filtrado previo admisión y dámper.

Los extractores son ventiladores de 42 pulgadas de diámetro propulsados por un motor de 2 hp sin filtrado, con dámper de admisión.

Los inyectores cuentan con 9 marcos con filtro cada uno, constituidos de fibra plástica y malla de aluminio. No existe documentación sobre el material específico utilizado para los filtros ni sus especificaciones técnicas.

En la figura 12 se puede apreciar el estado de algunos de los filtros que se encontraron instalados en el sistema de ventilación, se puede notar que el elemento filtrante ha sufrido reparaciones y que existen ranuras entre cada retazo de material colocado. También se observa que posee diversos tipos de material filtrante y daño severo de la malla protectora.

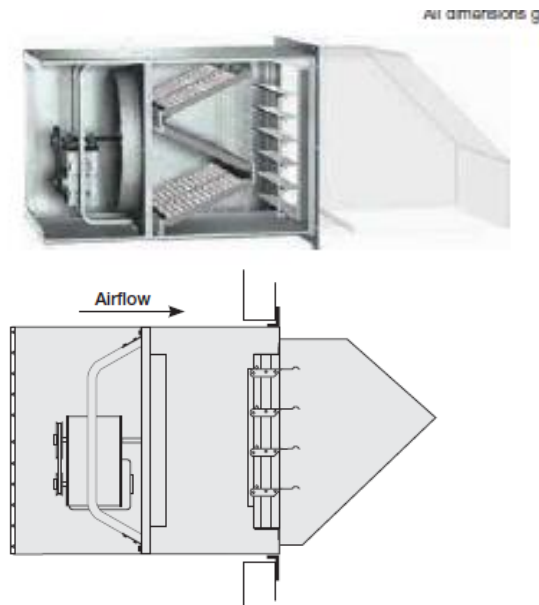
Figura 12. **Condición de filtros de aire**



Fuente: Alimentos Montesol.

El procedimiento establecido dice que se deben mantener encendidos los 4 ventiladores durante toda la jornada de producción y mantener apagados en cualquier otra actividad. No se establece la presión que debe haber en el recinto.

Figura 13. **Modelo de ventiladores instalados**

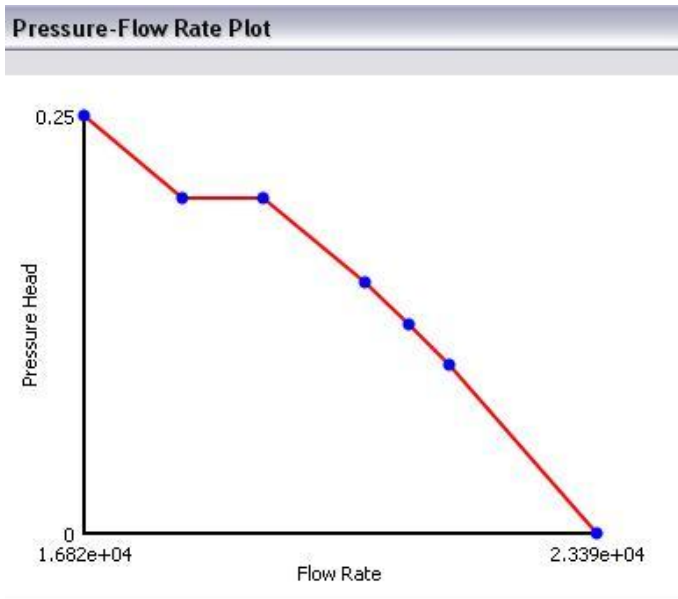


Fuente: Catálogo Greenheck, julio 2009.

Las curvas de ventilación de estos equipos se muestran en la tabla VII.

Tabla VII. **Curva de ventiladores SB-2L42-20**

Model Number	Motor HP	Fan RPM	Max BHP	*Sones	CFM / Static Pressure in Inches WG												
					0.00	0.10	0.125	0.15	0.20	0.25	0.30	0.375	0.50	0.625	0.75	1.00	
SB-2L42-20	2	502	2.01	24	23394	21521	21006	20440	19128	18098	16824						
		532	2.40	27	24792	23046	22560	22074	20881	19757	18819	16579					



Fuente: *Catálogo de ventiladores Greenheck*, julio 2009.

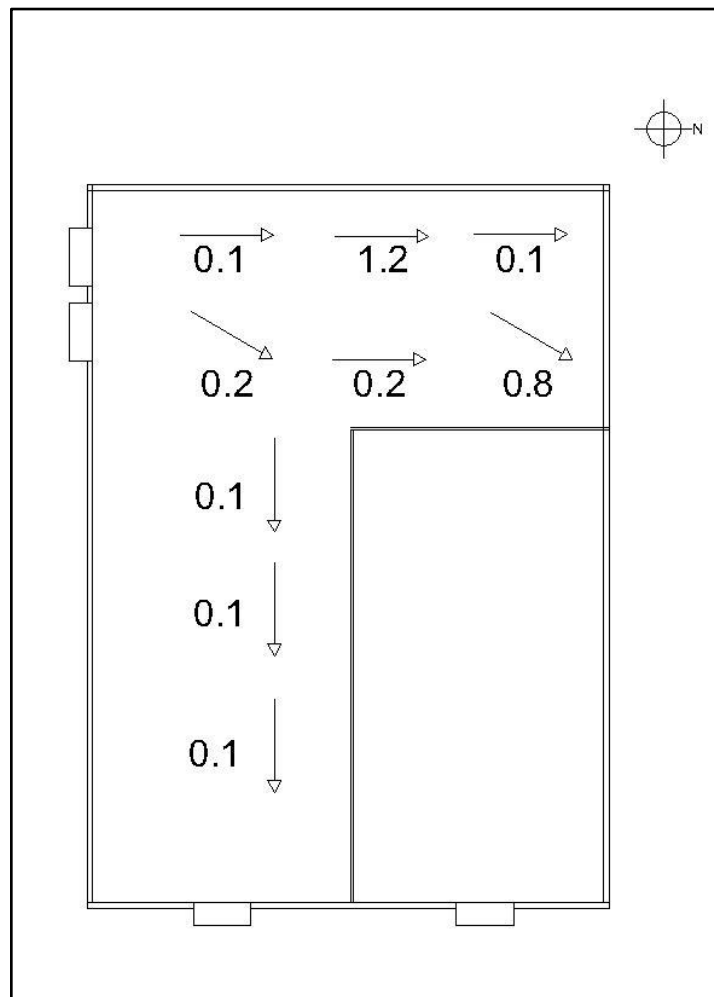
3.3. Velocidad del aire

Se tomaron medidas de velocidad de aire dentro del recinto con un anemómetro digital. Los datos fueron tomados a una altura de 1.9 m como referencia de la altura mayor donde se desplaza producto. Esta medición busca definir un patrón de movimiento de aire y revelar zonas de estancamiento o bolsas de aire, que permitan la concentración de aire contaminado.

Para esta medición se tuvieron los dos ventiladores inyectores y los dos extractores encendidos.

Los resultados muestran una baja velocidad en la zona este de la planta hacia los extractores.

Figura 14. **Velocidad de aire medida en la planta**



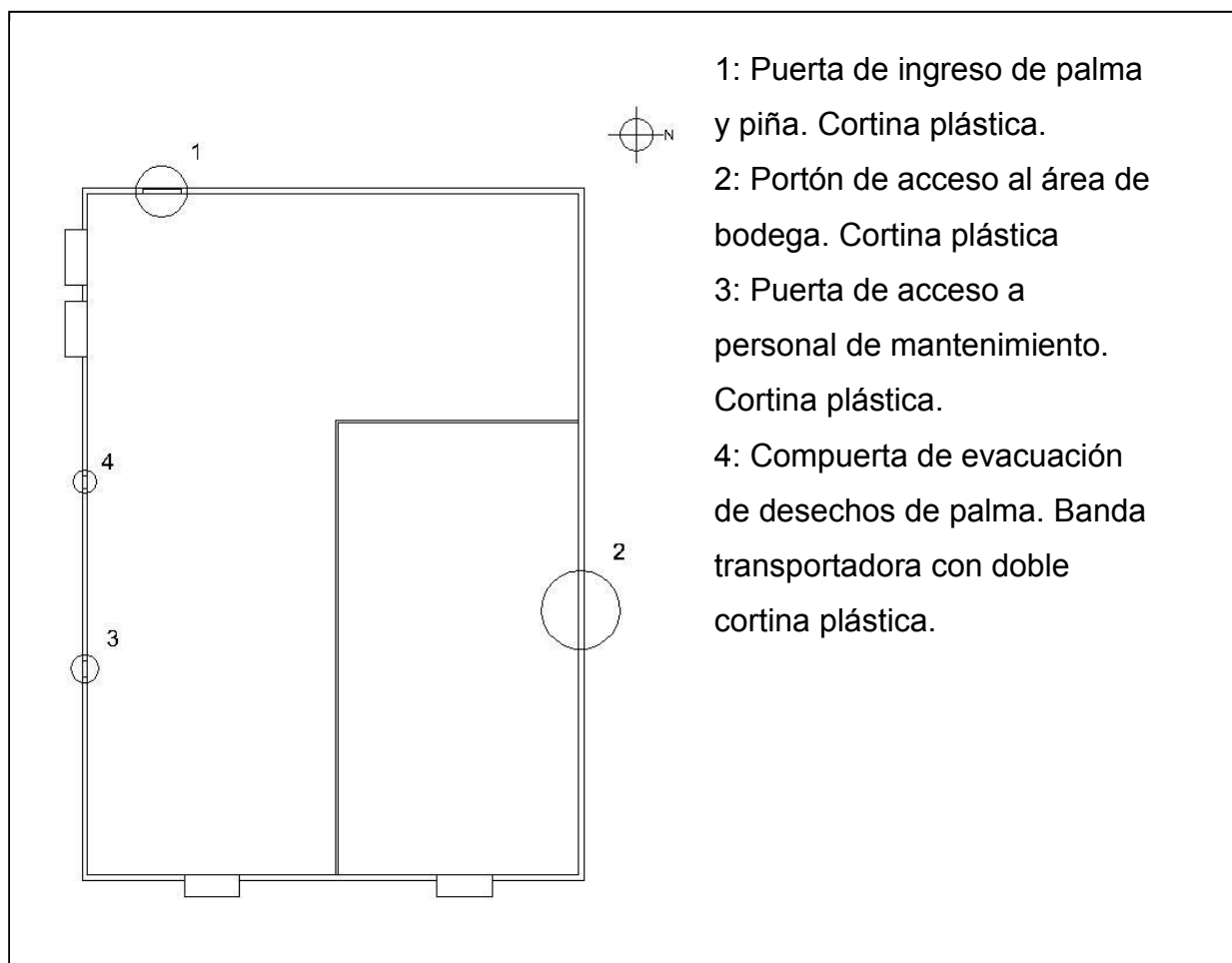
Fuente: elaboración propia, empleando LibreCad

3.4. Zonas sensibles

Se establecen como zonas sensibles aquellos espacios donde el ingreso de contaminación sea de mayor probabilidad y que, por las condiciones de los

procesos dentro de la planta no se pueden eliminar. Estas zonas son, en particular, los ingresos de materia prima, ingreso de personal, canales de salida para desechos y accesos de la bodega. Algunos accesos permanecen cerrados la mayor parte del tiempo, sin embargo, existen periodos extensos de tiempo en el que pueden permanecer abiertos.

Figura 15. **Identificación de zonas sensibles**



Fuente: elaboración propia, empleando LibreCad.

4. CÁLCULOS PARA SISTEMA DE VENTILACIÓN

4.1. Método de cálculo

Se estimarán los caudales de ventilación del recinto con base al volumen del mismo y los ciclos por minuto que se requieran bajo la norma. Se calculará los metros cúbicos por hora que deban circular, por persona, dentro del recinto y se hará una estimación teórica del dióxido de carbono producido por persona, y en total por los ocupantes, y así calcular el volumen de aire fresco necesario para diluir este gas, además se calificará el tipo de aire de extracción del recinto. Todos los cálculos se harán con base al Reglamento Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional; así como el documento RITE que respalden los métodos. Posteriormente se harán simulaciones computarizadas de los patrones de ventilación y tiempo de vida (edad) del aire que ayuden a comprender el comportamiento y eficiencia de ventilación. Por último se identificarán los tipos de filtro que pueden ser usados para la aplicación estudiada y se evaluarán sus características e impacto en el sistema de ventilación.

4.2. Resultados teóricos

A continuación se presentan los resultados de los métodos teóricos para la determinación de los valores para cada parámetro previamente descrito, con su debido procedimiento de cálculo y referencias.

4.2.1. Determinación de la demanda de aire

El metabolismo vital de las personas exige un determinado consumo de oxígeno en función de variados factores tales como: el tamaño, sexo, tipo de actividad, duración de la misma, entre otros., lo que obliga a una renovación mínima del aire de los ambientes habitados. Por otra parte la renovación excesiva puede repercutir desfavorablemente en los gastos para climatización.

Según el Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, el caudal mínimo por persona es de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ con velocidades entre $0,2 \text{ m/s}$ y 1 m/s .

Por otra parte, el documento RITE, que clasifica los locales a ventilar, da una tabla para referencia de caudal por persona. Como se expone en la tabla VII.

Tabla VIII. Caudal de aire exterior por persona

Categoría	m^3/h por persona
IDA 1	72
IDA 2	45
IDA 3	28,8
IDA 4	18

Fuente: ATECYR. *Reglamento de instalaciones térmicas* RITE. p.46

El número máximo de trabajadores registrado dentro de la planta es de 60 (dato recopilado del historial de la empresa)

$$Q_{\text{aire}} = 60 \text{ personas} * \frac{50 \text{ m}^3/\text{h}}{\text{persona}}$$

$$Q_{\text{aire}} = 3000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por lo tanto, el caudal de aire debe ser de: 3 000 m³/h para el Reglamento Nacional.

Basados en el documento RITE, se deduce una calidad de aire IDA2, lo que nos da un caudal de: 2 700 m³/h

$$Q_{aire} = 60 \text{ personas} * 45 \frac{m^3/h}{\text{persona}}$$

$$Q_{aire} = 2\,700 \text{ m}^3/h$$

Tabla IX. Renovación de aire en locales

Tipo de local habitado	Renovaciones/hora
Catedrales	0,5
Iglesias modernas (techos bajos)	1 - 2
Escuelas, aulas	2 - 3
Oficinas de bancos	3 - 4
Cantinas (de Fábricas o militares)	4 - 6
Hospitales	5 - 6
Oficinas generales	5 - 6
Bar del hotel	5 - 8
Restaurantes lujosos (espaciosos)	5 - 6
Laboratorios (con campanas localizadas)	6 - 8
Talleres de mecanizado	5 - 10
Tabernas (con cubas presentes)	10 - 12
Fábricas en general	5 - 10
Salas de juntas	5 - 8
Aparcamientos	6 - 8
Discotecas	10 - 12
Restaurante medio (un tercio de fumadores)	8 - 10
Gallineros	6 - 10
Clubs privados (con fumadores)	8 - 10
Café	10 - 12
Cocinas domésticas (mejor instalar campana)	10 - 15
Teatros	10 - 12
Lavabos	13 - 15
Sala de juego (con fumadores)	15 - 18
Cines	10 - 15

Continuación tabla IX

Cafeterías y Comidas rápidas	15 - 18
Cocinas industriales (indispensable usar campana)	15 - 20
Lavanderías	20 - 30
Fundiciones (sin extracciones localizadas)	20 - 30
Obradores de panaderías	25 - 35
Naves industriales con hornos y baños (sin campanas)	30 - 60
Talleres de pintura (mejor instalar campana)	40 - 60

Fuente: S&P. *Manual de ventilación*. p.31

La tabla IX muestra el número de renovaciones del volumen de aire del recinto que se debe cumplir por hora. Este valor se estima en función de la temperatura y el grado de contaminación que se genera dentro del local.

El volumen de la planta, específicamente el área de Producción, se calcula con las medidas expuestas en la figura 10, de manera que el volumen será:

$$V_1 = 66 * 48 * 6 = 19\ 008m^3 \quad (\text{volumen inferior})$$

$$V_2 = 0.5(48) * 4 * 66 = 6\ 336m^3 \quad (\text{volumen superior})$$

$$V_t = V_1 + V_2 = 25\ 344m^3 \quad (\text{volumen total})$$

Basado en la tabla IX usamos el dato referido para fábrica (5-10 ciclos/h), para cumplir con la mínima de 5 renovaciones por hora se requiere de un caudal de $126\ 667m^3/h$ (74553.38 CFM)

$$Q_{aire} = 25\ 344m^3 * 5 \text{ ciclo/h}$$

$$Q_{aire} = 126\ 667m^3/h$$

El siguiente criterio a evaluar es la cantidad de dióxido de carbono producido por las personas. Según el reglamento de salud y seguridad ocupacional no se debe sobrepasar una concentración de 50/10000 (5 000ppm)

Para calcular de modo teórico la emisión de CO₂ dentro de la planta se utiliza la fórmula descrita en la norma UNE 100-01191 donde se utiliza la relación de la tasa metabólica proporcional a los litros por segundo de emanación de CO₂ de una persona saludable.

$$Q_{co2} = 0,0042(M)$$

Donde:

Q_{co2}: caudal en l/s emanado de dióxido de carbono

M: tasa metabólica de la actividad expresada en met. (1 met = 58,2 W/ m²)

En la tabla X se pueden observar algunos valores de referencia para algunas actividades, de las cuales se seleccionarán las que más se asemejen a las actividades realizadas en la línea de producción. Esto es una estimación, ya que para obtener datos reales se debe hacer un estudio por actividad y complejión física de cada uno de los trabajadores, lo que requiere una alta inversión económica y de tiempo. La tabla X representa a sujetos de muestra con buena salud y alimentación, de 1,7 m de altura.

Tabla X. **Tasa metabólica para distintas actividades**

Actividad	W / m2	Met
Descansando		
Durmiendo	40	0,7
Reclinado	45	0,8
Sentado, quieto	60	1,0
De pie, relajando	70	1,2
Caminando (en horizontal)		
0,89 m/s (3,2 Km/h)	115	2,0
1,34 m/s (4,8 Km/h)	150	2,6
1,79 m/s (6,5 Km/h)	220	3,8
Actividades de oficina		
Leyendo	55	1,0

Continuación de tabla X.

Escribiendo	60	1,0
Mecanografiando	65	1,1
Archivando sentado	70	1,2
Archivando de pie	80	1,4
Caminando alrededor	100	1,7
Manipulando/empaquetando	120	2,1
Conduciendo		
Automóvil	60-115	1,0-2,0
Vehículo pesado	185	3,2
Actividades y ocupaciones diversas		
Cocinando	95-115	1,6-2,0
Limpiando la casa	115-200	2,0-3,4
Sentado, manipulación pesada	130	2,2
Trabajo mecánico		
Planchando (tabla de planchar)	105	1,8
Trabajo ligero	115-140	2,0-2,4
Trabajo pesado	235	4,0
Cargando sacos de 50 Kg	235	4,0
Trabajo de pico y pala	235-280	4,0-4,8
Actividades diversas de ocio		
Bailando	140-255	2,4-4,4
Ejercicios, aeróbicos	175-235	3,0-4,0
Tenis	210-270	3,6-4,0
Baloncesto	290-440	5,0-7,6
Lucha o competición	410-505	7,0-8,7
Sentado, manipulación pesada	130	2,2

Fuente: MONROY, Manuel Martín. *Manual de Aire ICARO*.

<http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/3- AIRE/Referencias/A.6 Tasas metabolicas.pdf>. Consulta: octubre 2014

Las diferentes actividades físicas que se realizan de forma continua en la zona de producción se describen en la tabla XI.

Se agruparon actividades similares para hacer un cálculo más sencillo, por lo que hay datos que son mayores del número real de personas en cada actividad.

Tabla XI. **Actividades físicas en el área de Producción**

Actividad	Número de personas	Actividad equivalente
Traslado de materia prima empujando carretas	4	Trabajo pesado
Pelado de palma con cuchillo	10	Trabajo ligero
Selección y llenado de latas a mano	20	Trabajo ligero
Pesado de latas con producto	4	Trabajo ligero
Control de máquinas cerradoras de lata	4	Trabajo ligero
Supervisores de línea	4	Caminando 0.89m/s
Codificado y Empaquetado	6	Manipulando/empaquetando
Actividades varias	8	Trabajo ligero.

Fuente: Alimentos Montesol.

El cálculo queda de la siguiente manera:

$$Q_{co2} = 0,0042[(4)(4,0) + 46(2,4) + 4(2,0) + 6(2,1)]$$

$$Q_{co2} = 0,6174 \text{ l/s} \quad (2,222 \text{ m}^3/\text{h})$$

Esto representa la cantidad de CO2 emanado por todas las personas dentro del recinto. Cálculo del caudal de aire fresco necesario para conseguir la dilución de 50/10 000.

$$Q_{aire} = 2,222 \left(\frac{10\ 000}{50} \right)$$

$$Q_{aire} = 444,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cabe resaltar que la proporción 50/10 000 equivalente a 5 000 ppm es el valor límite establecido por la Norma ASHRAE para exposición a CO₂ en zonas de trabajo en un tiempo no mayor a 8 horas. Por lo que, el caudal instalado debe ser siempre mayor al calculado para garantizar que la exposición al CO₂ sea la mínima posible.

Complementando el cálculo mediante la concentración de dióxido de carbono, se usará de nuevo el documento RITE, este presenta una tabla donde se clasifica la cantidad de CO₂ permitido, dependiendo de la clase de local. Estos datos se pueden observar en la tabla XII.

Tabla XII. **Concentración de CO2 en locales**

Categoría	Ppm(*)
IDA1	350
IDA2	500
IDA3	800
IDA4	1200
*concentración en partes por millón de volumen por encima de la concentración de aire exterior	

Fuente: ATECYR. *Reglamento de instalaciones térmicas RITE*. p. 47.

Se considera de nuevo el local tipo IDA2 y se procede a calcular el volumen necesario para la dilución de CO2. Se añade al cálculo el valor de concentración de dióxido de carbono del aire exterior, asumiendo un aire de buena calidad, ya que la ubicación es fuera de la ciudad, en una zona de poco tráfico vehicular y no hay fábricas o fuente de contaminación cercana; el valor para el cálculo será de 400 ppm de CO2 en el aire exterior. Así, el cálculo queda de esta forma:

$$Q_{aire} = 2,222 \left(\frac{1 * 10^6}{500 + 400} \right)$$

$$Q_{aire} = 2\ 468\ m^3/h$$

4.2.2. Aire de extracción

El aire que se extrae de un local también debe ser analizado, ya que su grado de contaminación reflejará la necesidad de filtrarlo antes de ser descargado al exterior o en casos de aire acondicionado, su recirculación al local. Las cuatro clasificaciones del nivel de contaminación de aire son:

- AE1. Nivel bajo de contaminación: locales que solo generan bajas cantidades polvo de materia prima y la respiración de las personas.
- AE2. Moderado nivel de contaminación: locales con generación significativa de polvo y humo.
- AE3. Alto nivel de contaminación: locales con altos niveles de vapores, así como químicos y humo. Las cocinas y laboratorios de productos químicos son ejemplos de este nivel de contaminación.
- AE4. Muy alto nivel de contaminación: se considera un local con generación de gases nocivos para la salud en alta concentración, humo negro y químicos a los que no se debe estar expuesto por mucho tiempo. Aire que debe ser filtrado antes de su expulsión o cumplir con las Normas de chimenea que establecen la altura adecuada para liberar este aire.

La planta de Alimentos Montesol no cuenta con fuentes de generación de humo ni gases nocivos en su línea de producción. La contaminación adicional a la respiración de los trabajadores es la humedad liberada por los túneles de vapor. Por lo que se considera que no es necesario medir el grado de contaminación y establecerlo como un aire de extracción tipo AE1, que puede ser liberado al ambiente sin necesidad de filtrado o descarga elevada.

4.2.3. Simulaciones de ventilación

Se utilizó software de simulación de fluidos para generar un patrón de distribución y velocidad del aire dentro de la planta. Se pretende conseguir a la vez, la edad promedio del aire dentro de la planta. Este dato se refiere al tiempo

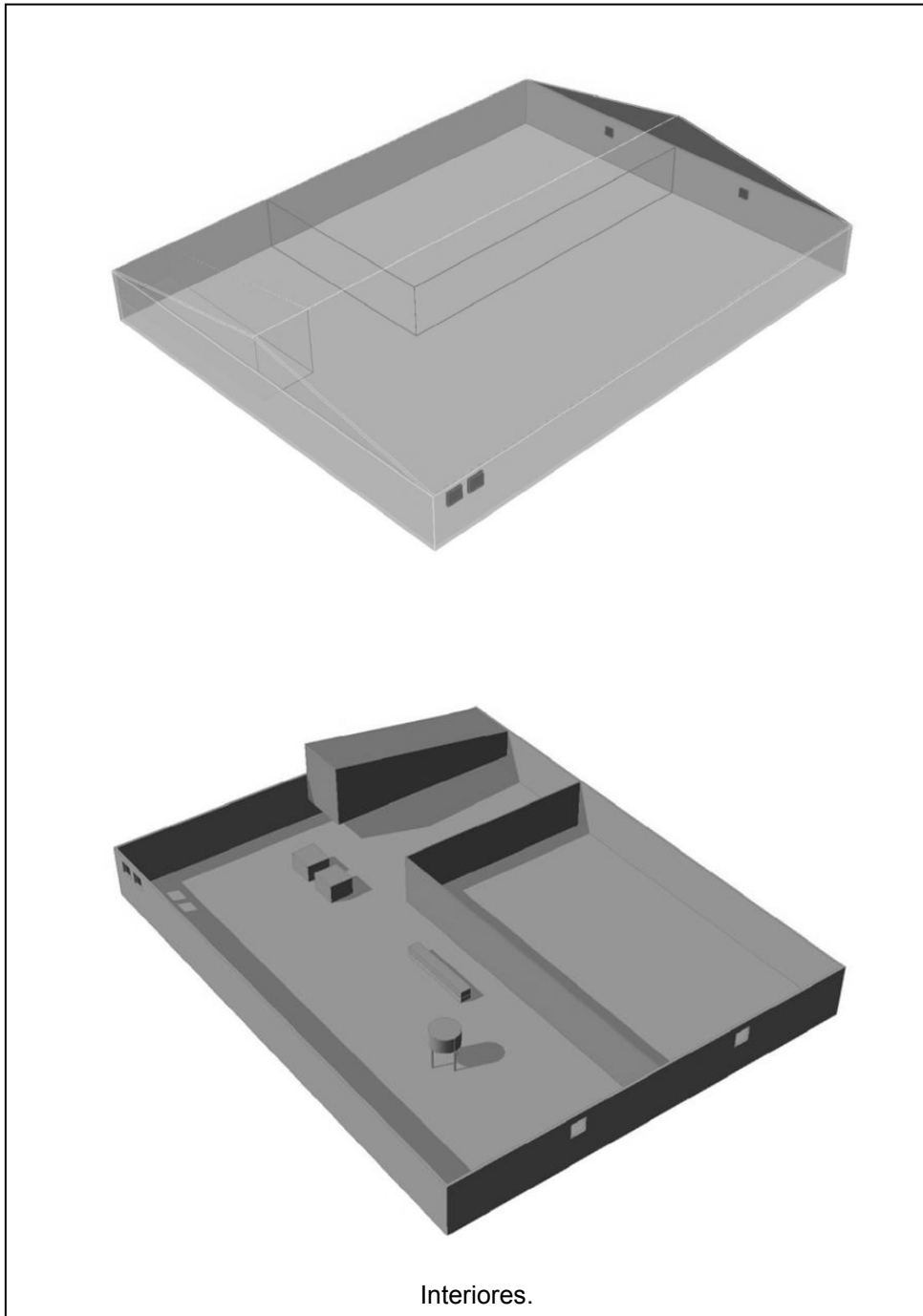
que tarda una porción de aire en recorrer todo el local hasta llegar a un punto de extracción.

Para iniciar la simulación se creó un modelo tridimensional de la zona de producción de la fábrica, ubicando los espacios que ocupan los ventiladores, así como las divisiones físicas que existen, de modo que se pudieran observar las perturbaciones del flujo de aire. Se agregaron los equipos que generan calor y vapor dentro de la planta como se observa en la figura 16, se encuentran 2 ollas de precocción, un túnel de vapor y un tanque de salmuera.

Luego se ingresaron en el programa los datos de los ventiladores obtenidos de sus hojas técnicas y se estableció la dirección del flujo. Se asignaron los materiales al modelo y se establece un volumen de aire interior, que es el fluido a estudiar. Los modelos mostrados son resultado del cómputo de 200 iteraciones del cálculo en el programa.

Se utilizaron diferentes configuraciones entre inyectores y extractores, de manera que se pudiera observar el comportamiento del aire y la presión dentro del recinto. Se observa como resultado un mapa vectorial paralelo a la superficie inferior a 2,5 m; como se hizo en las mediciones con anemómetro. Se observan en escala de grises las velocidades medias en el plano.

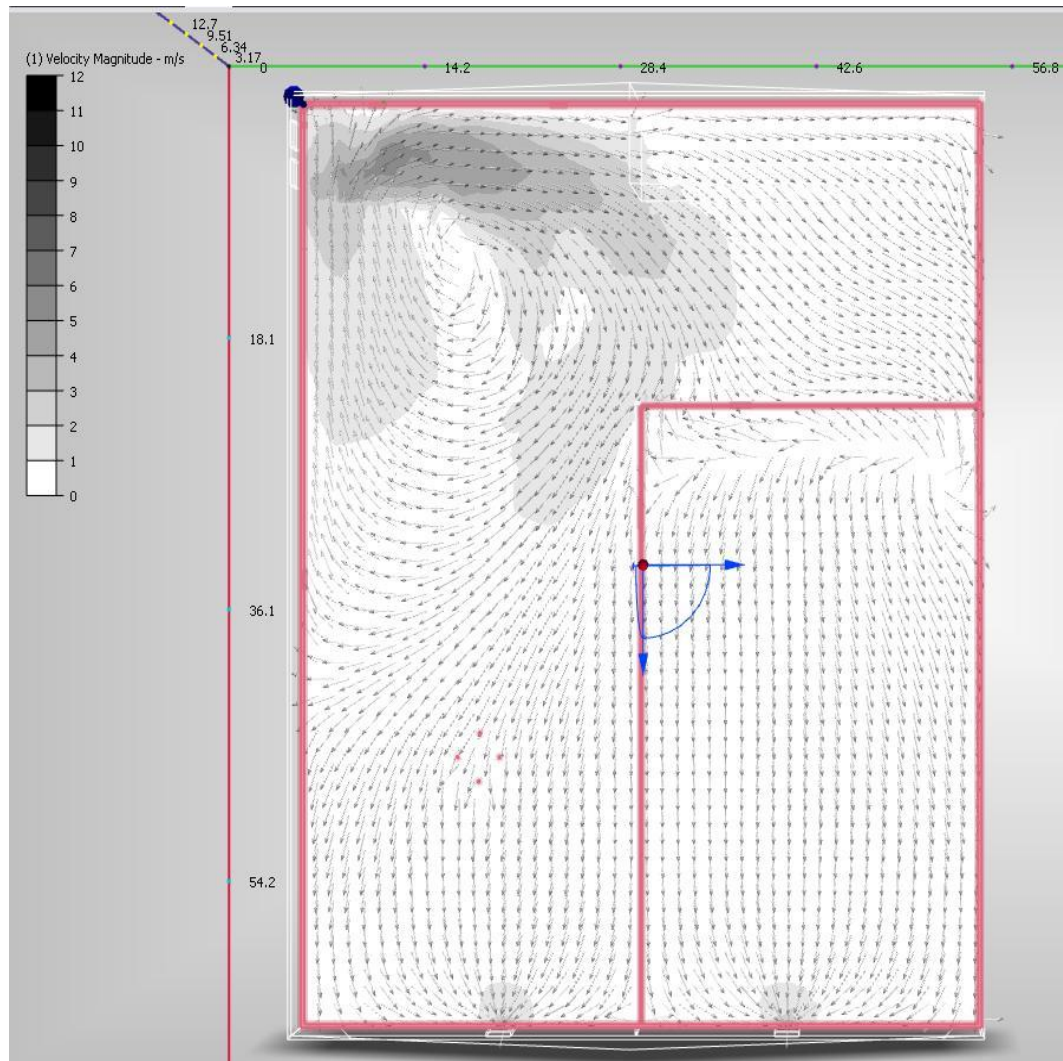
Figura 16. **Modelo tridimensional de área de Producción**



Fuente: elaboración propia, empleando simulador CFD.

La primera simulación fue llevada a cabo con los cuatro ventiladores funcionando, 2 inyectores y 2 extractores.

Figura 17. Patrón de flujo de aire con 2 inyectores y 2 extractores



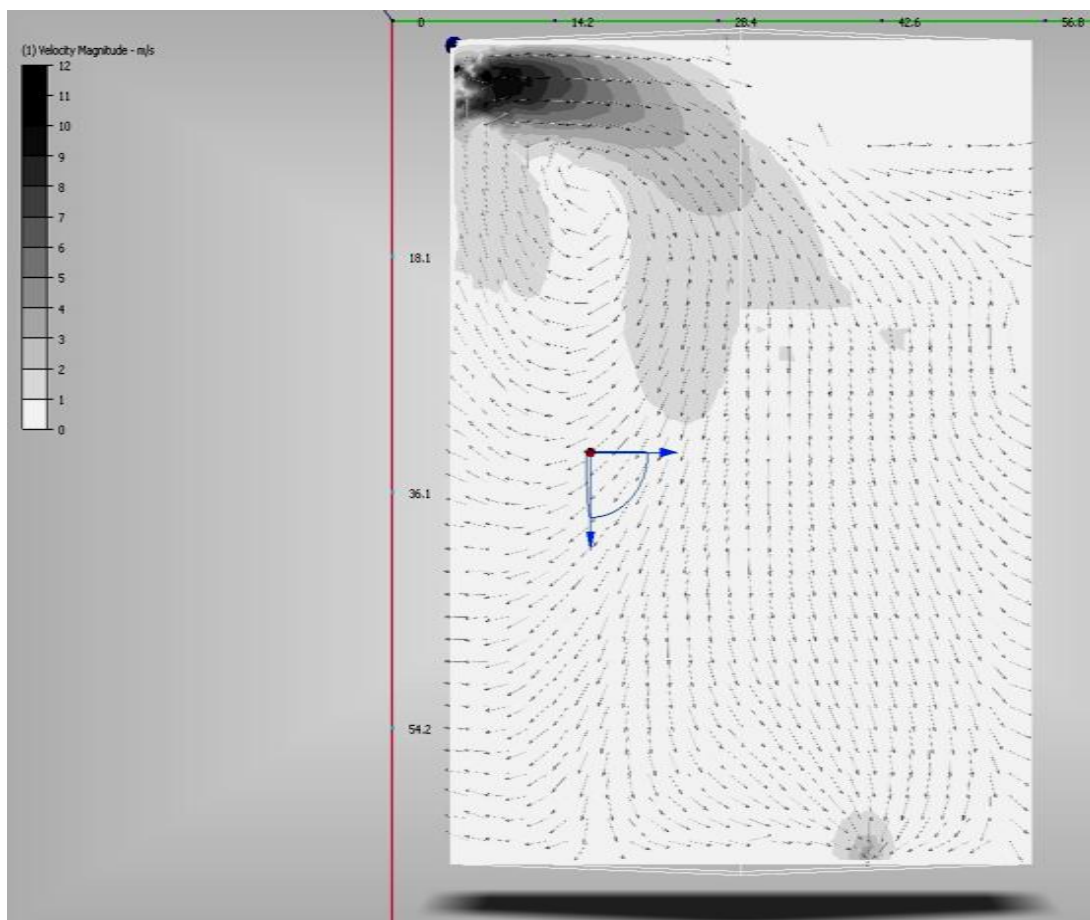
Fuente: elaboración propia, empleando simulador CFD.

En la figura 17 se observa alta turbulencia en la zona de los inyectores y un remolino producido por la corriente que rebota en la pared de la oficina superior. El flujo de aire se ve homogéneo en las zonas de extracción.

Una desventaja observada en esta configuración es la presión dentro de la planta, ya que se crea depresión, lo que por cuestiones de seguridad a la inocuidad, no debe existir en fábricas de alimentos, porque aumenta el riesgo de ingreso de contaminantes o insectos por alguna de las zonas sensibles antes ya identificadas.

La segunda simulación representa los 2 inyectores y solamente el extractor norte (lado derecho de la imagen), como se aprecia en la figura 18.

Figura 18. **Patrón de flujo de aire con 2 inyectores y extractor norte**



Fuente: elaboración propia, empleando simulador CFD.

Esta configuración reduce el arremolinado dentro de la zona de los inyectores, crea una zona de mayor velocidad cercana al área de selección y un flujo homogéneo en el área de bodega. El recinto se encuentra con sobre presión, así que no se corren riesgos por ingreso de contaminantes.

El inconveniente de esta configuración se da por el arrastre de vapor desde la zona de pre cocción y túneles de vapor hacia la bodega, lo que puede provocar condensación que deteriore las latas y cartón que se encuentra almacenado.

La tercer simulación fue empleando los 2 inyectores y el extractor sur (lado izquierdo de la imagen), como se aprecia en la figura 19.

Esta configuración nos muestra una mejora en el desplazamiento de la turbulencia en la zona de inyectores. Se mantiene una sobrepresión en el recinto y el arrastre de vapor se hace sobre la zona de producción, reduciendo la posibilidad del paso de vapor hacia la bodega. La figura 20 muestra el patrón de flujo en Z-Y (desplazamiento superior y horizontal de norte a sur) donde observamos que se extrae el aire de la zona de bodega que se reemplaza con aire fresco de la zona de inyección.

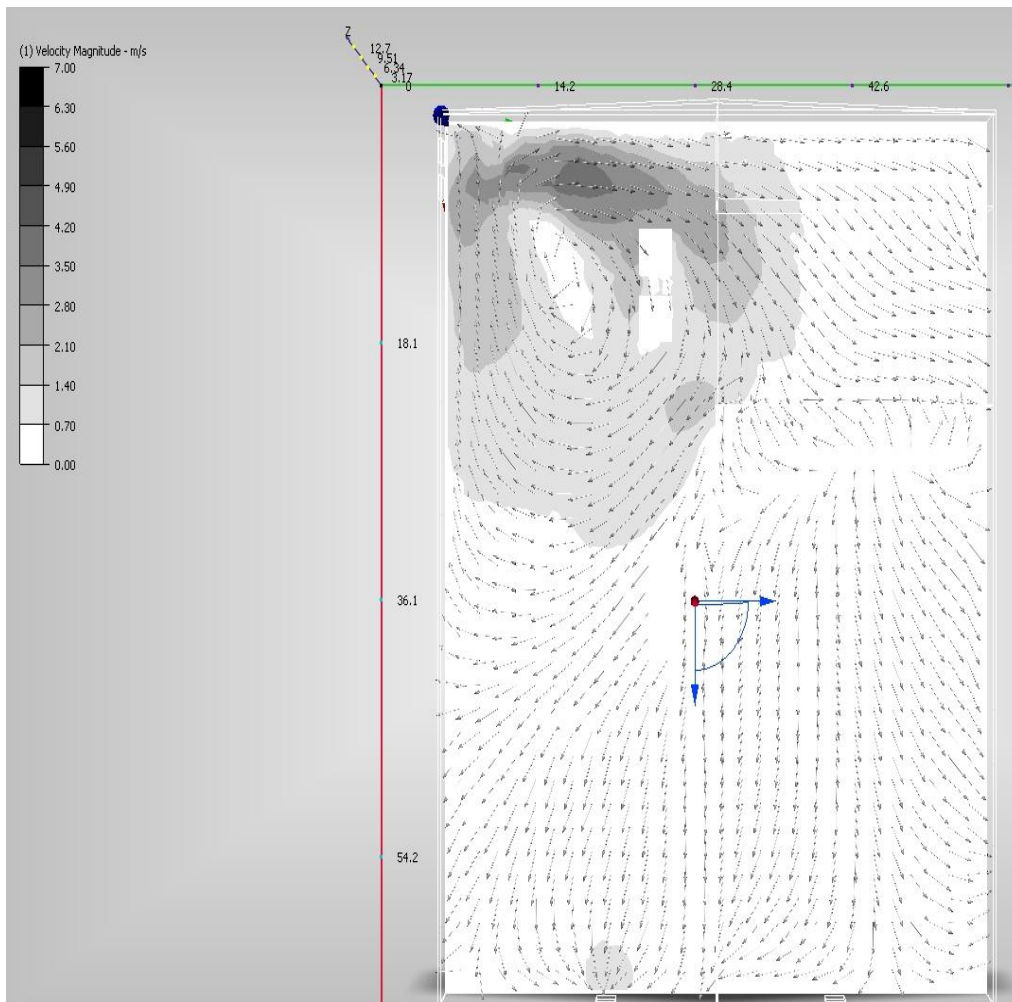
La tabla XIII es comparativa, donde se muestran los resultados de presión estática generada dentro del recinto con las diferentes configuraciones de los ventiladores.

Tabla XIII. **Presión estática en los modelos**

	Doble extracción	Extractor norte	Extractor sur
Presión Max (Pa)	553,24	1002,63	717,95
Presión media (Pa)	12,21	48,4656	117,14

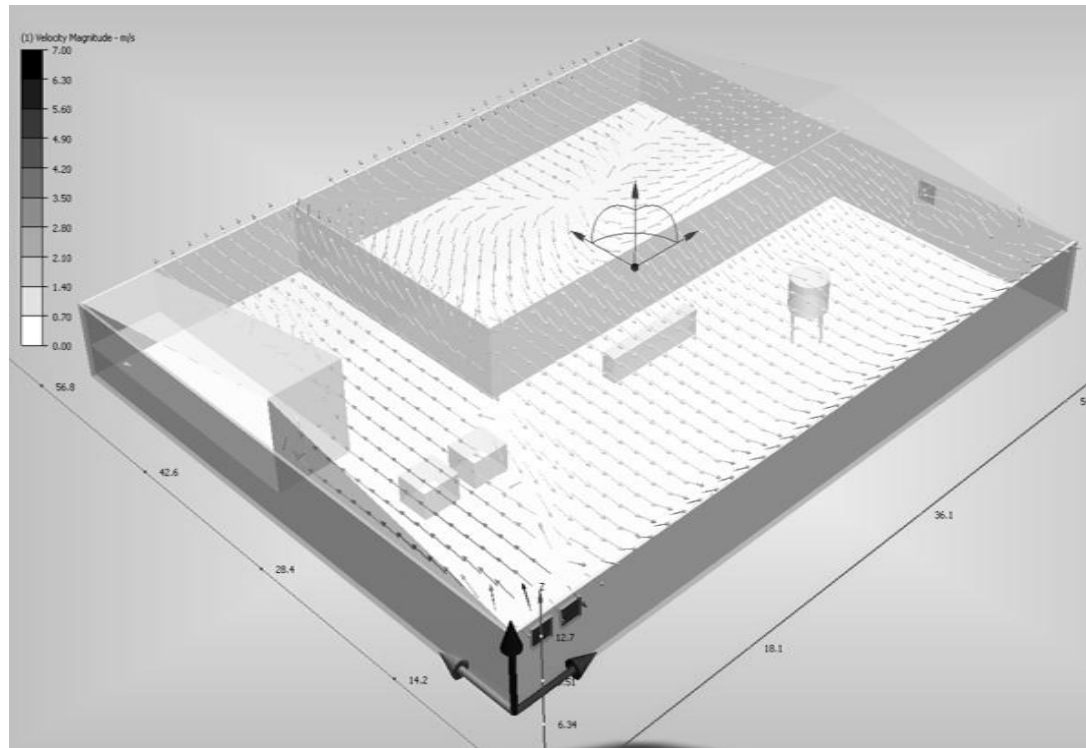
Fuente: resultados de simulación CFD

Figura 19. **Patrón de flujo de aire con 2 inyectores y extractor sur**



Fuente: elaboración propia, empleando simulador CFD.

Figura 20. **Patrón de flujo de aire en planos Z-Y**



Fuente: elaboración propia, empleando simulador CFD..

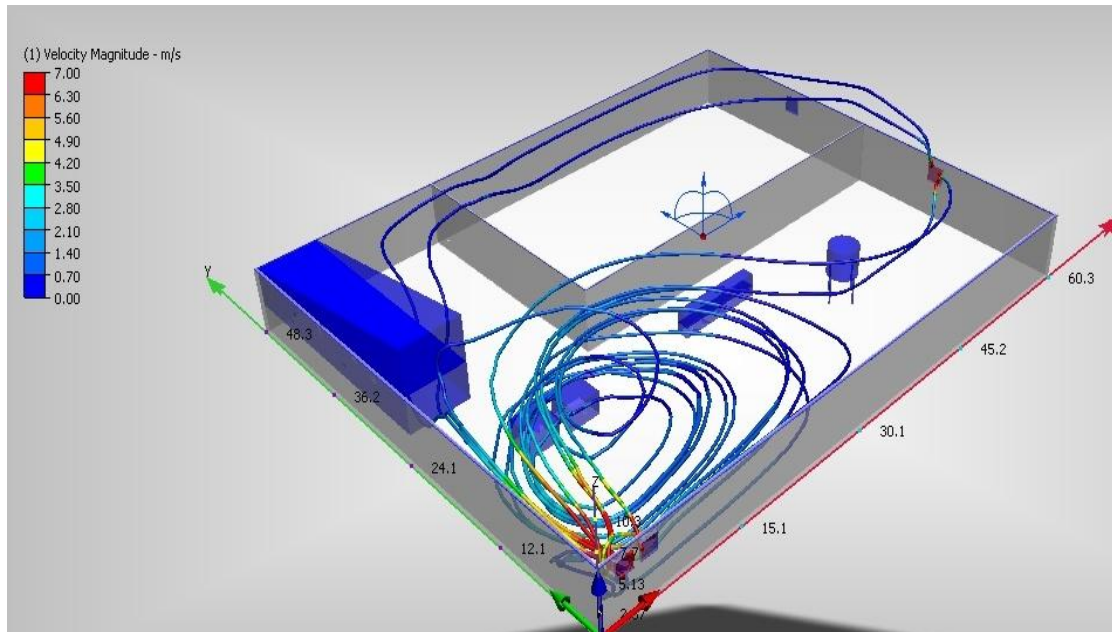
4.2.4. **Edad del aire**

El siguiente punto es encontrar el tiempo promedio que tarda una partícula en recorrer el recinto desde que es inyectada por el sistema de ventilación hasta llegar al punto de extracción. Para este análisis se utiliza la configuración de 2 inyectores y extractor sur, basado en el análisis anterior, que demostró mayores ventajas y cumplimiento de los requisitos de los reglamentos.

En la figura 21 se observa la trayectoria de 6 partículas dentro del recinto. La simulación da un tiempo por partícula para cumplir su trayectoria. La figura 22 muestra las zonas con circulación lenta de aire, que son representadas por

los volúmenes sobresalientes, cabe mencionar que no se observan zonas de estancamiento dentro del recinto.

Figura 21. **Trayectoria de partículas en el aire**



Fuente: elaboración propia, empleando simulador CFD.

Los datos generados por la simulación se muestran en la tabla XIV:

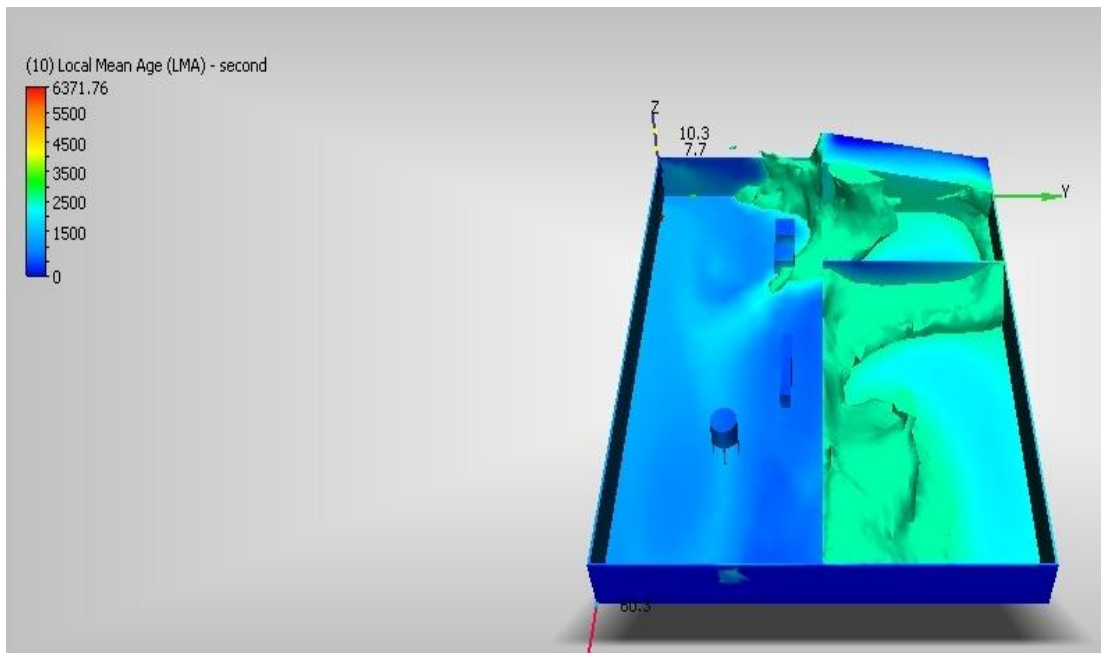
Tabla XIV. **Edad de partículas de muestra**

No. Partícula	Tiempo de trayectoria (segundos)
1	14 670,00
2	167,38
3	149,30
4	170,50
5	2 569,90
6	1 159,90

Fuente: resultados de simulación CFD.

El tiempo promedio de residencia dentro del recinto será de 3 147,83 segundos (0,87 horas)

Figura 22. **Edad media del aire**



Fuente: elaboración propia, empleando simulador CFD.

4.2.5. **Eficiencia de ventilación**

La eficiencia de ventilación definida por Etheridge & Soderberg utiliza la relación entre el tiempo de renovación mínima del aire y el tiempo de renovación media.

$$\varepsilon = \frac{\text{tiempo de renovación mínima}}{\text{tiempo de renovación media}} = \frac{(Q/V)}{2\tau_m}$$

El tiempo de renovación mínima es el tiempo que requiere un caudal Q en reemplazar un volumen V de aire de un recinto.

Se utiliza como volumen de aire, el volumen de la planta, ya que bajo los criterios analizados anteriormente, el caudal instalado está sobredimensionado, exceptuando el criterio de ciclos por hora. Por lo tanto se analiza la capacidad del sistema de ventilación para hacer la renovación completa de aire del recinto basado en sus características.

El tiempo de renovación media es el doble de la edad media del aire en el recinto (τ_m). Este dato se obtiene al estimar la media de los datos obtenidos en la simulación anterior. De modo que los datos a usar serán los siguientes:

- Volumen de aire (V): 25 344 m³
- Caudal de aire (Q): 34 727 m³/h
- Edad media (T_m): 0.87 h

$$\varepsilon = \frac{34\,727/25\,344}{2 * 0,87} = 0,787$$

Lo que resulta en una eficiencia del 78,7 % en la ventilación total del recinto. Notando en la figura 22 que el área de Bodega es la zona de menor movimiento.

4.3. Filtrado

Basado en los criterios expuestos en la sección 2,9 sobre filtrado del aire y el análisis resuelto en este capítulo, sobre la calidad de aire requerida en el

interior y el tipo de aire a expulsar, se debe establecer qué tipo de filtro se puede emplear para la ventilación de la planta de producción.

La tabla IV indica que se debe usar un filtro F5 a F8 (EU5 a EU8) basado en los requerimientos de filtrado del aire de inyección, mientras la tabla V al identificar la planta como zona IDA2, establece que el filtro requerido es un F6. Para el aire de extracción no es requerido filtro.

Los filtros F5 a F7, por lo regular son de tipo bolsa, fabricados en diferentes fibras, tales como: fibra de vidrio, microfibra y fibras sintéticas.

Existen filtros especiales de alta eficiencia que mezclan varias fibras y geometría para obtener mejores resultados.

Es recomendable el uso de prefiltros de tela de poliéster para mejorar la vida útil de los filtros de bolsa.

5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para obtener un máximo rendimiento del equipo y mantener la calidad requerida en la ventilación, es importante establecer rutinas de mantenimiento e inspección de todos los componentes mecánicos y eléctricos del equipo. La frecuencia de las inspecciones y las intervenciones preventivas son clave para lograr los objetivos de calidad y rendimiento, optimización de costos y tiempos de trabajo.

Al considerar la ventilación como uno de los elementos principales de la protección de la inocuidad de los productos, se debe tener un plan estricto y detallado de los procedimientos y su calendarización.

Alimentos Montesol cuenta con un registro de reparaciones donde se encuentran las actividades realizadas y los repuestos utilizados. Información recopilada en una base de datos y algunos documentos de mantenimiento.

Basado en este registro y las fichas técnicas se pudo crear un plan de mantenimiento para el equipo de ventilación.

Figura 23. Registro de mantenimientos

The screenshot shows a database form with the following components:

- Equipment Table:**

Código de equipo	ubicacion	nombre del equipo
42CCTA	CUARTO DE CALDERA	TANQUE AUXILIAR AIRE COMPRIMIDO
42CCTC	CUARTO DE CALDERA	TANQUE DE CONDENSADOS
90CRGR	TALLER DE MANTENIMIENTO	CORTAGRAMA POU LAN PRO
91PKGW	PATIO	PICK UP GONOW
91VNEK1	PATIO	EXTRACTOR DE AIRE NORTE
91VNEK2	PATIO	EXTRACTOR DE AIRE SUR
91VNA1	PATIO	INYECTOR #1(OESTE)
91VNA2	PATIO	INYECTOR #2(ESTE)
- Maintenance Work Table (TRABAJOS REALIZADOS A EQUIPO):**

ID	fecha inicio	Fecha fin	Tipo de servicio	Descripción de intervención	Responsable	procc. inspección
265		10/11/08		MANTENIMIENTO DE LIMPIEZA , TENSIC	J.C	
266		16/02/11		SE CAMBIO FAJA Y LUBRICACION 2 CH	J.M	
267		14/06/11		SE CAMBIO FAJA	J.M	
268		23/05/13		CAMBIO DE FAJA		
357		28/10/13		CAMBIO DE FAJA Y LUBRICACIÓN DE C		
359	30/10/13	31/10/13		CAMBIO DE POLEA POR FRACTURA (E		
410	05/03/14	05/03/14		CAMBIO DE FAJA Y AJUSTE DE TENSIC		
- Repair Details (Reparación Temporal):**
 - Descripción de intervención:** CAMBIO DE FAJA Y AJUSTE DE TENSION.
 - Repuestos:** 1) FAJA: A-56
 - Costo de reparación:** Q99,90

Fuente: Alimentos Montesol.

5.1. Partes y repuestos

Los elementos que sufren desgaste en los ventiladores instalados en la planta son: cojinetes tipo chumacera que soportan el eje de rotación de las aspas, la faja que transmite el movimiento del motor hacia el eje de rotación, el motor eléctrico y sus cojinetes. La estructura también recibe daño por la vibración.

Identificar las partes reemplazables y crear un registro facilita la planificación de compra de repuestos, al tener existencias en la bodega de mantenimiento se da una mejora a los tiempos de respuesta ante una falla y el tiempo de intervención en los mantenimientos preventivos.

Los códigos de los repuestos identificados por ventilador son los mostrados en la tabla XV:

Tabla XV. **Repuestos y códigos identificados por equipo**

Repuesto	Código	Cantidad
Chumacera	UCP 202-10 5/8"	2
Faja	A-56	2*
Cojinete de motor	6204	1
Cojinete de motor	6206	1

*los extractores solo utilizan una faja

Fuente: Alimentos Montesol.

El motor eléctrico es de 2hp de potencia 502 rpm, conexión 220V trifásico.

5.2. Frecuencia de fallas

Se evidencia en los registros las fallas y las fechas de reparación, de estos datos se extraen los tiempos estimados entre falla. Para identificar las características de cada equipo, se hará una tabla, identificando cada elemento y sus periodos de falla, se considera que todos han trabajado simultáneamente, ya que la guía de procedimientos dictaba el uso de los dos inyectores y los dos extractores en todo el tiempo de producción. Los equipos trabajan desde el año 2002.

Tabla XVI. **Periodo entre falla registrada**

Parte:	Inyector Este	Inyector oeste	Extractor norte	Extractor sur
Chumacera	n/r	n/r	n/r	n/r
Faja	1 año	14 meses	4 meses	5 meses
Cojinete de motor 1	3 años	n/r	n/r	n/r
Cojinete de motor 2	3 años	n/r	n/r	n/r

Fuente: alimentos Montesol.

5.3. Rutinas de mantenimiento

Como parte del plan de mantenimiento, se deben establecer las actividades que se van a realizar para cada intervención en el equipo, la frecuencia con la que se van a realizar las inspecciones y su respectivo registro.

5.3.1. Equipo de ventilación

La rutina de mantenimiento a implementar para los ventiladores incluye inspección, lubricación y limpieza del equipo. Se presenta con un formato de check-list o listado de actividades. Para facilidad del encargado de mantenimiento de controlar las actividades.

Se inicia con una inspección visual del equipo:

- observar que no existan piezas sueltas o daños en la estructura, dámper y elementos móviles, así como rupturas en los filtros.
- Se debe revisar el estado de las fajas de transmisión, deben estar sin desgaste que exponga los alambres e hilos que conforman el interior de la faja.
- Revisar la tensión de la faja de manera que no se encuentre muy holgada o muy tensa. Solo debe ceder dos veces su espesor al tensarse con la mano en la parte central entre poleas.
- Ver que las chumaceras se encuentren lubricadas y no presenten óxido o daños.

En caso de observar algún daño o falla en lo anteriormente mencionado, reemplazar o reparar de inmediato.

Luego de la inspección visual se debe hacer inspección auditiva.

- Se enciende el ventilador y escucha atentamente que no presente algún ruido extraño a la operación normal. Principal atención a chillidos que pueden ser causados por falta de lubricación o una faja dañada.
- Con el equipo trabajando se deben hacer las mediciones de corriente de línea en el tablero, dato que expone la condición del motor. Amperaje superior al 10 % del nominal debe tomarse como alerta.
- Revisar que los contactores eléctricos se encuentran en buen estado, limpios y sin rastros de humedad.

En el anexo I se muestra una propuesta de formato del chek-list que cubre con los aspectos descritos anteriormente.

5.3.2. Filtros

Su mantenimiento dependerá de la elección tomada, ya que hay varias opciones en cuanto a diseño y construcción, por lo que se debe consultar al proveedor sobre las características y opciones de mantenimiento que sean pertinentes.

Los filtros de fibra sintética plástica, de uso común en los sistemas de aire acondicionado (G3-G5), tienen la opción de ser lavados para mantener su

eficiencia, sin embargo, se deben secar adecuadamente para evitar la producción de moho que pueda ser inyectado al recinto.

Los filtros tipo bolsa de clase F5 a F8, que son de telas de microfibra o fibra de vidrio, no se deben lavar. Poseen un tiempo de vida establecido y deben ser reemplazados al cumplir este periodo.

CONCLUSIONES

1. Los resultados teóricos y las simulaciones computarizadas demuestran que la planta de alimentos cuenta con un equipo adecuado para la extracción de contaminantes generados dentro de la planta, así como un excelente caudal de ingreso de aire fresco, sin embargo, se debe mejorar el filtrado para garantizar una zona limpia.
2. El *Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional de Guatemala*, aún carece de especificaciones técnicas que garanticen el correcto cálculo de la ventilación en recintos de trabajo.
3. La ventilación forzada general con ventiladores axiales resulta ser la más conveniente y económica a implementar en plantas de alimentos sin generación de humo. Ya que se producen caudales eficientes y presión adecuada dentro del recinto.
4. Los sistemas eólicos de extracción no resultan convenientes de implementar en zonas limpias, ya que existe riesgo de ingreso de contaminación y los caudales de extracción no son constantes. Sin embargo, presentan una opción muy económica para ventilar plantas industriales que no generen humo.
5. La calidad de aire para toda planta de fabricación debe estudiarse de forma objetiva, considerando todos los factores de riesgo, para obtener el sistema adecuado y optimizar los costos de servicio.

RECOMENDACIONES

1. Darle vital importancia a los estudios de ventilación en las plantas de alimentos para garantizar un ambiente higiénico, inocuo y confortable para los productos y a los trabajadores.
2. Hacer muestreos de la calidad de aire dentro y fuera de la planta, que pueden ser analizados en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia para respaldar las actividades preventivas.
3. Las rutinas de mantenimiento e inspección deben cumplirse y registrarse los hallazgos para optimizar los periodos entre cada inspección o mantenimiento.
4. El estudio y aplicación de los modelos matemáticos, así como el uso de programas de cómputo para el estudio de fenómenos físicos debe ser implementado en la carrera de Ingeniería, para mejorar la capacidad de análisis de las causas y efectos de estos, y con ello mejorar las condiciones para la toma de decisiones en la implementación o modificación de equipos y maquinaria.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios RITE*. España 2007. 170p
2. BURCHARD SEÑORET, Lucas Pedro Pablo. *Ventilación de locales de alimentos*. [en línea]. <www.slideshare.net/lucasburchard/ventilacin-de-locales-de-alimentos#>. [Consulta: 12 de febrero de 2014].
3. CARÍAS, Rudy René. *Diseño de un sistema de ventilación y extracción en el departamento de lavandería y secado del hospital del IGSS "DR. Juan José Arévalo Bermejo" de la zona 6 de la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación den Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2004. 106 p.
4. CASTRO, Francisco. *Mejora de la ventilación de una habitación de hospital*. España: Dpto. Ingeniería Energética y Fluidomecánica. E.T.S. de Ingenieros Industriales. Universidad de Valladolid. 2008. 10 p.
5. ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. *Ventilación Industrial*. Colombia: Universidad de Medellín. 2011. 214 p. ISBN: 978-958-8692-07-4.

6. ECOSISTEMA. *Funcionamiento de extractores eólicos*. [en línea]. <<http://www.extractoreseolicos.com.ar/funcionamiento.html>>. [Consulta: 3 de noviembre de 2012].
7. FILCARACA. *Evaluación de filtros de aire*. [en línea]. <<http://www.filtroscaracas.com/06evaluacion.swf>>. [Consulta: 1 de noviembre de 2012].
8. Ministerio de Trabajo y Previsión Social. *Reglamento de salud y seguridad ocupacional*. Acuerdo Gubernativo 229-2014, 2014.
9. MONROY, Manuel Martín. *Manual de aire ICARO*. Islas Canarias: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, 2006. 108 p. ISBN: 84-690-0893-5.
10. SOLER & PALAU, *Manual práctico de ventilación*. 2a ed. España: 2012. 52 p.
11. WADDEN, Richard. *Contaminación del aire en interiores*. México: Limusa, 1987. 257 p. ISBN: 968-18-2112-2.

ANEXO

Anexo 1. Check list para inspección de equipo de ventilación

	Alimentos Montesol S.A. Check List para inspección de equipo de ventilación	Forma XXX-000
---	---	------------------

EQUIPO A INSPECCIONAR: _____

FECHA: _____

NOMBRE DE RESPONSABLE: _____

INSPECCIÓN VISUAL


<i>ASPECTO</i>		<i>Casilla de chequeo</i>	<i>Observaciones/acciones</i>
Piezas sueltas en el equipo:			
Integridad de estructura			
Dámpers			
Filtros			
Integridad de fajas			
Tensión de fajas			
Lubricación de chumaceras			
Contactores eléctricos en integras condiciones			

INSPECCIÓN AUDITIVA

*Encienda exclusivamente el equipo a inspeccionar.

<i>ASPECTO</i>		<i>Casilla de chequeo</i>	<i>Observaciones/acciones</i>
Nivel aceptable de ruido de operación			
Ruidos fuera de la operación normal			

Continuación de anexo 1.

	Alimentos Montesol S.A. Check List para inspección de equipo de ventilación	Forma XXX-000
MEDICIONES		
VOLTAJE DE FASE		
L1-L2	L2-L3	L1-L3
CORRIENTES DE LÍNEA		
L1	L2	L1
OBSERVACIONES: _____ _____		
Página 2 de 2		

Fuente: Alimentos Montesol.