

“Ventilación de Bodega de Almacenamiento de Producto Terminado en una Fábrica de Balanceado”

Jamil Roberto Sanga Chavarría
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
jrsanga@espol.edu.ec

Ing. Juan Francisco Andrade Sánchez
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
fandrade@espol.edu.ec

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal implementar un sistema de ventilación mecánica para una bodega en la cual se almacena el producto terminado de una fábrica de balanceado. Como objetivo secundario consta el diseñar un sistema de control automático que se adapte al sistema de ventilación mecánica. Primeramente se calcula la ventilación necesaria basándose en incrementos de calor. Una vez obtenida la cantidad de ventilación que se necesita en la bodega, se seleccionan los diferentes componentes; tanto del sistema de ventilación como del sistema de control automático, empleando programas especializados de compañías locales y extranjeras. Se realizan los diagramas respectivos de conexión y ubicación de equipos y por último se elabora un análisis económico básico, para determinar el costo del proyecto. Se emplea el Decreto 2393 denominado Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente, para determinar los límites máximos permisibles de ruido y ventilación.

Palabras Claves: Ventilación Mecánica, Control Automático.

Abstract

This paper's main objective is to implement a mechanical ventilation system for a warehouse in which to store the finished product of a factory balanced. A secondary objective includes the design of automatic control system to suit the mechanical ventilation system. Firstly necessary ventilation is calculated based on heat increases. Once the amount of ventilation needed in the winery, the different components are selected, both the ventilation system and the automatic control system, using specialized programs of local and foreign companies. Are performed respective connection diagrams and location of equipment and finally develops a basic economic analysis to determine the cost of the project. It uses the named Decree 2393 Safety and Health Regulations for Workers and Improvement of the Environment, to determine the maximum permissible limits of noise and ventilation.

Keywords: Mechanical Ventilation, Automatic Control.

1. Introducción

Debido al desarrollo de las empresas industriales del Ecuador, hoy en día se construyen una serie de edificaciones que son indispensables para que las industrias puedan ejercer sus respectivas actividades, pero muchas veces éstas edificaciones resultan poco eficientes y alcanzan los objetivos para los cuales fueron

diseñadas, debido a varios factores que los ingenieros no consideran al momento de realizar el respectivo diseño.

En este proyecto, se presenta el caso de una bodega de producto terminado perteneciente a una fábrica de balanceado, la cual se encuentra funcionando de una forma nada recomendable, ya que por ser cerrado, en el interior se alcanzan temperaturas por encima de los 32°C, razón por

la cual el producto almacenado sufre desperfectos. De aquí el objetivo de este proyecto es el diseñar un sistema de ventilación mecánica.

Para combatir las condiciones antes mencionadas se procederá a diseñar un sistema de ventilación mecánica, seleccionando primeramente el tipo de ventilación que se va a aplicar y luego a seleccionar de manera ingenieril y realizando aproximaciones matemáticas los equipos de ventilación, en este caso extractores axiales. Del mismo modo se diseñará un sistema de control automático, el cual se va a adaptar al sistema de ventilación. Para la selección de equipos de ventilación se emplea el software CAPS perteneciente a la compañía estadounidense GREENHECK, mientras que para el sistema de control automático se emplea el software FPM perteneciente a una compañía local.

Es importante también la distribución de los equipos de ventilación ya que hay muchas opciones válidas, pero en este caso se la escogió en función de la manera en que se encuentran ubicadas las estanterías.

Con la implementación tanto del sistema de ventilación como del sistema de control automático se logra que la temperatura en el interior de la bodega no sobrepase los límites establecidos; por lo tanto, el producto terminado se estaría almacenando de la mejor manera y los obreros que laboran dentro de la bodega tendrían mejores condiciones de trabajo.

2. Generalidades

2.1. Objetivos del proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo principal diseñar un sistema de ventilación y control automático para una bodega de almacenamiento de producto terminado en una fábrica de balanceado.

Como objetivos específicos se tienen: calcular las cargas térmicas que actúan en la bodega, seleccionar los equipos de ventilación y control automático, ubicar los equipos de la mejor manera posible y calcular el costo total de obra.

2.2. Ubicación y descripción de la bodega

La bodega a la cual se la implementará el sistema de ventilación y control automático se encuentra ubicado a las afueras de la ciudad de

Guayaquil con la pared frontal a 10° latitud norte. Consta de una sola zona, la cual posee un área de 1800 m². La cubierta es metálica y posee 40 paneles traslúcidos para iluminación natural, las paredes son de bloque macizas recubiertas por una capa de pintura; además las paredes este y sur constan de compuertas metálicas enrollables que sirven para el embarque y desembarque del producto

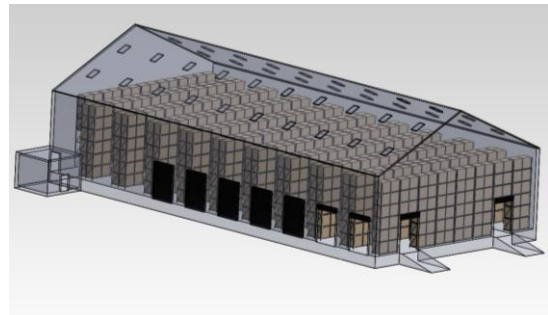


Figura 1. Vista interna actual de la bodega

Fuente: Elaboración propia

2.3. Condiciones de diseño

Las condiciones para el diseño del sistema de ventilación y control automático en la bodega exigen que se ejecuten varias funciones simultáneas, tales como renovar el aire y asegurarse que esta renovación llegue a todos los lugares, controlar y mantener la temperatura, el movimiento, la pureza, el nivel de ruido y la presión diferencial de aire, todo esto en un espacio con límites predeterminados para la correcta conservación del producto almacenado. La temperatura en el interior de la bodega será establecida como límite superior en 27°C.

Se requiere además que los extractores no se encuentren funcionando permanentemente, sino en determinados momentos, cuando las condiciones lo ameriten, por este motivo se tiene que aplicar el sistema de control automático para poder disminuir el consumo energético, disminuir el ruido y controlar de manera automática y sin necesidad de intervención humana el sistema de ventilación de la bodega.

3. Ventilación mecánica

También llamada Ventilación Dinámica, es la que el movimiento del aire se consigue gracias a ventiladores accionados por un motor.

2.2. Ventilación por extracción de aire

Se logra colocando el ventilador extrayendo aire del local, lo que provoca que éste quede en

depresión respecto a la presión atmosférica. El aire penetra desde fuera por la abertura adecuada. El método de extracción de aire es el más usado. En muchos casos se puede recomendar por su simplicidad y economía.

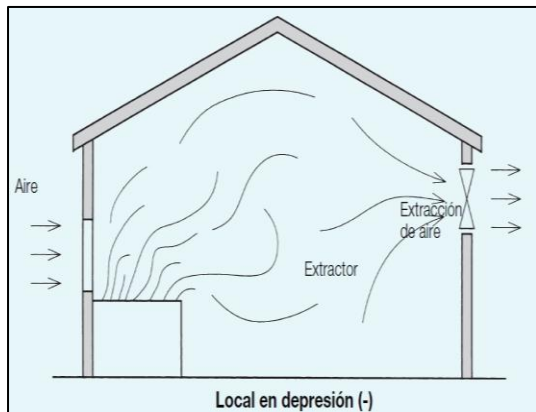


Figura 2. Ventilación por extracción de aire

Fuente: *Manual Práctico de Ventilación – Soler & Palau*

4. Balance de cargas térmicas

Se define carga térmica como la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener determinadas condiciones de temperatura para una aplicación específica.

4.1. Ganancia de calor por muros y cubierta

Para calcular la ganancia de calor a través de paredes y cubierta se usa la siguiente ecuación:

$$Q_p = U \times A \times \Delta T_{eq}$$

Donde:

U: Coeficiente Global de Transferencia de Calor a través de muros y cubierta.

A: Área de paredes y cubierta.

ΔT_{eq} : Diferencia Equivalente de Temperatura.

El Coeficiente Global de Transferencia de calor representa la capacidad de la superficie para transferir calor, y se lo define de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{l_1}{k_1} + \dots + \frac{l_n}{k_n} + \frac{1}{h_i}} = \frac{1}{R_T}$$

Donde:

h_o : Coeficiente de convección exterior.

k: Coeficiente de conductividad térmica.

l: Espesor de cada material.

h_i : Coeficiente de convección interior.

R_T : Suma de resistencias térmicas.

La Diferencia Equivalente de Temperatura se define como el flujo calorífico total a través de la estructura original por la radiación solar variable y la temperatura exterior. Se lo calcula, así:

$$\Delta T_{eq} = a + \Delta T_{es} + b \left(\frac{R_s}{R_m} \right) (\Delta T_{em} - \Delta T_{es})$$

Donde:

a: Corrección de temperatura cuando la variación de temperatura entre la zona exterior e interior es distinta a 15°F.

ΔT_{es} : Diferencia de temperatura exterior a la sombra.

b: Coeficiente de color de muro o pared.

R_s : Aportación solar máxima según el día, la latitud y el mes del año.

R_m : Aportación solar máxima a 40° de latitud norte en el mes de julio.

ΔT_{em} : Diferencia de temperatura en la pared.

4.2. Ganancia de calor por personas

Ganancia de calor sensible (Q_s), por personas:

$$Q_s = F_s \times N$$

Donde:

F_s : Factor de calor sensible.

N: Número de personas.

Ganancia de calor latente (Q_l), por personas:

$$Q_l = F_l \times N$$

Donde:

F_l : Factor de calor latente.

N: Número de personas.

La ganancia de calor total por personas se lo calcula, así:

$$Q_T = Q_s + Q_l$$

4.3. Ganancia de calor por iluminación

El calor generado por lámparas fluorescentes se lo calcula de la siguiente manera:

$$Q_{itu} = P \times N_f \times 3.41 \times 1.25$$

Donde:

P: Potencia de las iluminarias (watts).

N_f : Número de lámparas.

4.4. Ganancia de calor por motores eléctricos

El calor generado por motores eléctricos (montacargas) se lo obtiene de tablas anexas en el respectivo trabajo de Tesis.

5. Diseño del sistema de ventilación

Debido a la gran variedad de construcciones se dificulta que se den normas fijas respecto a la disposición de los diversos equipos de ventilación. A continuación se nombran las directrices que deberían seguirse en lo posible:

- Los extractores deben situarse diametralmente opuestos a las entradas de aire, de modo que el caudal de ventilación atraviese toda la zona contaminada.
- Los extractores se tienen que colocar cerca de los focos de contaminación para captar el aire nocivo antes que se difunda por el local.
- Se debe alejar el extractor de una ventana abierta o entrada de aire exterior, para evitar que el aire expulsado entre de nuevo al local.

La Figura 3 ilustra diversos casos con soluciones para lograr las recomendaciones nombradas anteriormente. Todas estas disposiciones suponen que el aire extraído se desecha y se lanza al exterior.

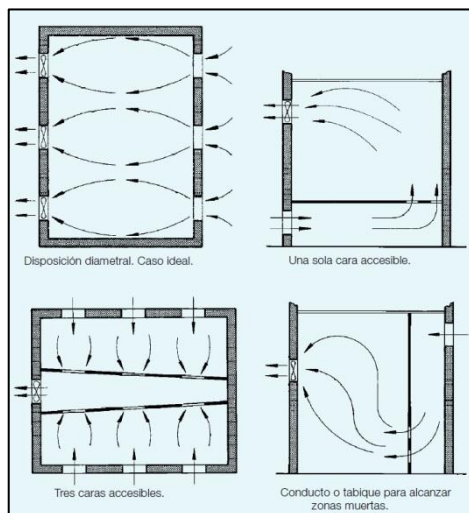


Figura 3. Disposición de equipos de extracción

Fuente: Manual Práctico de Ventilación – Soler & Palau

Se selecciona el primer caso denominado disposición diametral. Se elige este método debido a la disposición de las estanterías ubicadas dentro de la bodega.

5.1. Cálculo de ventilación necesaria

La ventilación necesaria para eliminar el calor, puede calcularse a partir del incremento de calor mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Número de Kcal/h}}{0.288 \times \Delta T} = \frac{m^3}{h}$$

Donde:

Número de Kcal/h: Ganancia de calor total.

ΔT : Diferencia entre la temperatura exterior a la sombra máxima y la temperatura interior máxima admisible.

5.2. Selección de equipos de ventilación

5.2.1. Selección de extractores

La selección de un extractor consiste en elegir aquel que satisfaga los requisitos de caudal y presión con que debe circular el aire por el local.

El caudal de trabajo total es de 87686.02 cfm, por lo tanto, se procede a dividir esta cantidad para el número de pasillos que forman las estanterías, con lo cual se necesitan colocar 10 extractores de 9000 cfm cada uno.

La presión estática se la calcula sumando las pérdidas; por longitud, por el louver y por el filtro.

Las pérdidas por fricción se calculan usando la ecuación de Darcy Weisbach:

$$h_f = f \frac{L \times v^3}{4 \times R_h \times g}$$

Donde:

f: Coeficiente de fricción.

L: Longitud de ducto por donde pasa el fluido.

R_h : Radio hidráulico.

v: Velocidad del fluido.

g: Gravedad.

El valor del coeficiente de fricción crítico se lo obtiene usando el diagrama de Moody, para lo cual se necesita calcular tanto el número de Reynolds como la rugosidad relativa.

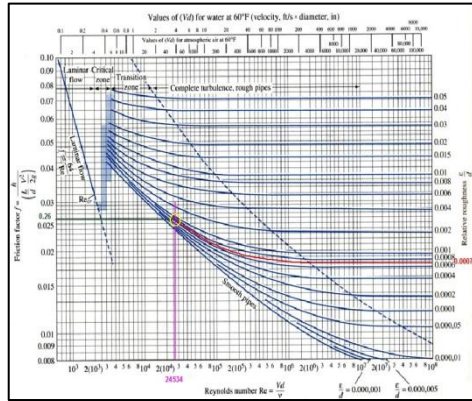


Figura 4. Diagrama de Moody

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la pérdida por fricción se procede a ser sumada a las pérdidas por el louver y a las pérdidas por el filtro.

$$h_{Total} = h_f + h_{louver} + h_{filtro}$$

Con los datos de caudal y caída de presión estática se procede a seleccionar el extractor, usando el programa Caps de la compañía estadounidense Greenheck Fan Corporation.

Model Name	Relative Cost	Operating Cost (\$)	Actual Volume (CFM)	Fan Speed (RPM)	Operating Power (hp)	Drive Loss (%)	Motor Size (HP)	Motor Size (kW)	Static Fan Weight (lb)	Inlet Area (sq ft)	Fast Pass	Best Lead Time
SBE-2L30	1.00	198	9,000	677	0.88	6.5	1	0.75	94	69	17.0	Yes QD / Stock
SBE-2L30	1.17	198	9,000	677	0.88	6.5	1	0.75	100	69	17.0	Yes 3 Day
SBE-2L30	1.43	215	9,000	703	0.95	6.3	1	0.75	107	68	17.5	- 3 Day
SBE-2H30	1.17	201	9,000	894	0.89	6.4	1	0.75	100	75	22	Yes 3 Day
SBE-2H30	1.43	220	9,000	944	0.97	6.2	1	0.75	107	75	25	- 3 Day
SBE-2L36	0.88	186	9,000	470	0.75	6.9	3/4	0.55	107	64	13.6	Yes QD / Stock
SBE-2L36	1.32	169	9,000	470	0.75	6.9	1	0.75	127	64	13.6	Yes 3 Day
SBE-2L36	1.77	181	9,000	495	0.8	6.7	1	0.75	137	63	12.4	- 3 Day
SBE-2H36	0.88	167	9,000	565	0.67	7.3	3/4	0.55	107	66	15.3	Yes 3 Day
SBE-2H36	1.32	152	9,000	565	0.67	7.3	1	0.75	127	66	15.3	- 3 Day
SBE-2H36	1.77	148	9,000	627	0.66	7.4	1	0.75	137	70	17.8	- 3 Day
SBE-2L42	1.17	201	9,000	380	0.86	6.4	1	0.75	146	65	13.3	Yes 3 Day
SBE-2L42	1.53	201	9,000	380	0.89	6.4	1	0.75	168	65	13.3	Yes 3 Day
SBE-2H42	2.02	135	9,000	437	0.6	7.7	1	0.75	183	65	13.5	- 3 Day
SBE-2L54	1.52	235	9,000	283	1.04	6.1	1	0.75	179	66	14.7	- 3 Day
SBE-2L54	2.09	235	9,000	283	1.04	6.1	1	0.75	209	66	14.7	- 3 Day

Figura 5. Copia de pantalla – selección de extractor en Caps

Fuente: Programa Caps

Se escoge el modelo SBE-2H36-10 el cual posee las siguientes características:

Tabla 1. Características del extractor

Marca	Greenheck
Modelo	SBE-2H36-10
Caudal de trabajo	9000 cfm
Presión estática	0.20 in H2O
Dimensiones de carcasa	44 x 44 in
Diámetro de aspas	36.625 in
Tipo de conexión	Por banda
Voltaje	220 V
Frecuencia	60 Hz
Número de fases	1
Temperatura de trabajo	95 °F
Peso del equipo	127 Lb
Revoluciones ventilador	565 RPM
Potencia motor	1 Hp
Revoluciones motor	1725 RPM
Ruido generado	66 dBA
Material de construcción	Acero galvanizado

En la figura 6 se aprecian las vistas del extractor seleccionado con sus respectivas características geométricas.

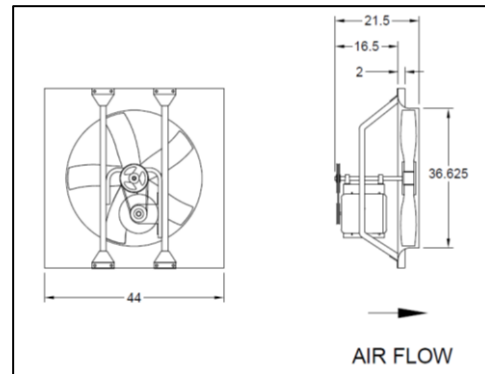


Figura 6. Vistas del extractor seleccionado

En la figura 7 se muestra la curva de operación del extractor.

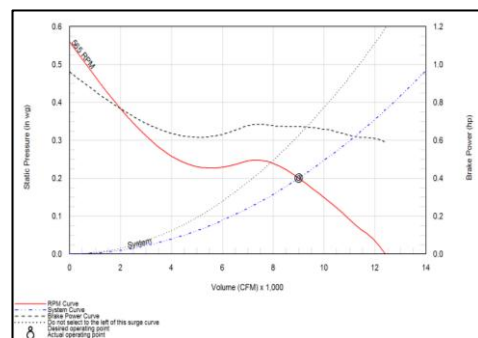


Figura 7. Curva de operación del extractor

Ruido generado por extractores

Asumiendo que los extractores en un momento determinado funcionen al mismo tiempo, se calcula el ruido que generan los 10 extractores, así:

$$dB_{Total} = 10 \cdot \text{Log}_{10} \left(10^{\frac{x_1}{10}} + 10^{\frac{x_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{x_n}{10}} \right)$$

Donde:

dB_{Total} : Ruido total producido por diversas fuentes.

x_n : Valores de ruido expresados en decibelios.

5.2.2. Selección de louvers

Se recurre nuevamente al programa Caps, donde se puede elegir el louver según su función, como en este caso vamos a usarlos en un sistema de extracción, estos louvers deben tener sus aletas configuradas para esta aplicación, la tabla 2 indica las principales características del louver.

Tabla 2. Características del louver

Marca	Greenheck
Modelo	GCI-402
Dimensiones	55 x 55 x 4 in
Area libre	8.2 ft ²
Espesor de marco	0.081 in
Espesor de aletas	0.063 in
Material de construcción	Aluminio

Se debe tener en cuenta que para seleccionar el louver el área libre debe ser mayor o igual al área de las hélices del extractor. En este caso el área libre del louver es de 8.2 ft² comparados con el área de las hélices que es de 7.3 ft² por lo tanto se puede decir que la selección se la ha realizado correctamente.

La figura 8 muestra la forma que tiene el louver.

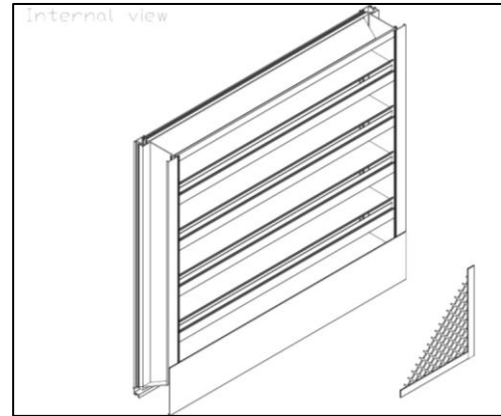


Figura 8. Vista del louver

Fuente: Programa Caps

5.2.3. Selección de filtros

Como en la bodega se requiere que no entre polvo o alguna otra partícula por las tomas de aire (louvers) se tienen que instalar filtros, en este caso se seleccionan filtros de fibra de vidrio los cuales son fabricadas con un material adhesivo que sirve para la retención del polvo, estos filtros se los pueden fabricar de diferente tamaño.

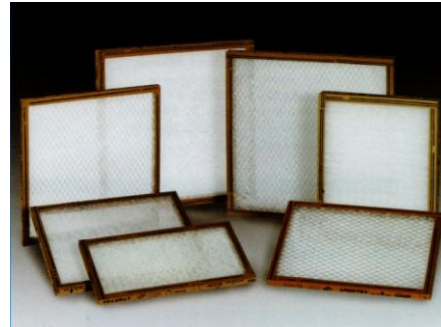


Figura 9. Filtros de aire seleccionados

5.2. Ubicación de equipos de ventilación dentro de la bodega

La selección de la posición de los extractores se determina en función de la distribución de las estanterías dentro de la bodega. Se coloca un extractor por cada pasillo de manera que no exista algún sitio sin ventilar. Las figuras 10, 11 y 12 muestran las diferentes vistas de la posición de los equipos de ventilación.

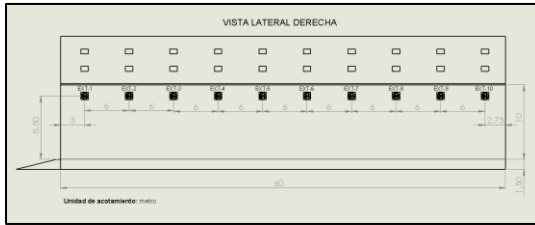


Figura 10. Vista lateral derecha de bodega ventilada

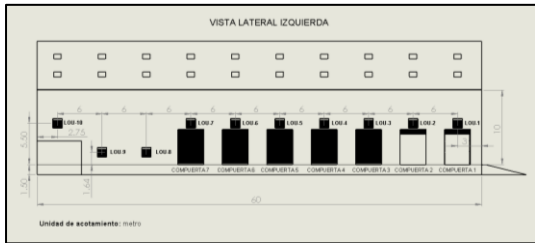


Figura 11. Vista lateral izquierda de bodega ventilada

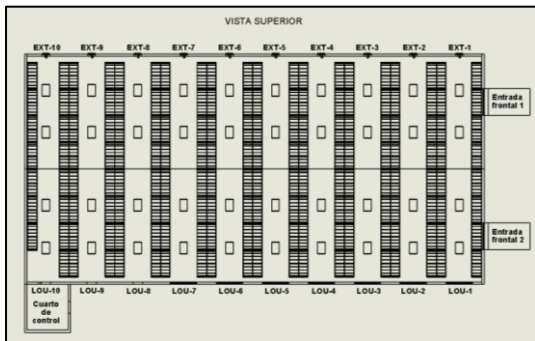


Figura 12. Vista superior de bodega ventilada

6. Diseño del sistema de control automático

El diseño y la selección de equipos del sistema de control automático se realiza con la ayuda del programa PFM (Presto Folder Manager) perteneciente a la compañía multinacional Jhonson Controls.

6.1. Selección del controlador

Para un sistema de ventilación mecánica y un control automático tipo on/off o también llamado de dos posiciones, el controlador más adecuado es el Metasys modelo MS-FEC2611-0. Estos controladores son diseñados para monitorear, controlar e integrar una amplia variedad de equipos debido a su versatilidad.

Tabla 3. Especificaciones técnicas del controlador

Marca	Jhonson Controls
Modelo	MS-FEC2611-0
Voltaje de trabajo	24 VAC
Consumo de energía (sin display)	14 VA
Procesador	H8SX/166Xr Renesas microcontroller
Memoria	1 mb de memoria flash y 512 kb de memoria ram
Dimensiones	150x190x53 mm
Peso	1.1 Lb.
Temperatura de trabajo	0 a 50 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 a 80 °C
Bus de comunicación	3 cables FC para supervisión y 4 cables SA para sensores y otros

El controlador seleccionado modelo MS-FEC2611-0 tiene las siguientes entradas y salidas:

- 6 entradas universales
- 2 entradas binarias
- 3 salidas binarias
- 4 salidas configurables
- 2 salidas analógicas

La figura 13 muestra la forma física que tiene el controlador seleccionado.



Figura 13. Controlador modelo MS-FEC2611-0

Fuente: Jhonson Controls

6.2. Selección del transformador

El siguiente elemento necesario para el sistema de control automático es el transformador, ya que las líneas de voltaje de la bodega son de 220V, mientras que el controlador funciona con 24V. Por ende para que el controlador pueda funcionar se hace indispensable la instalación de un transformador. El transformador elegido es el modelo Y64T15-0

el cual es un producto que la distribuye la compañía Jhonson Controls.

Tabla 4. Especificaciones técnicas del transformador

Marca	Jhonson Controls
Modelo	Y64T15-0
Voltaje primario	120/208/240 V
Voltaje secundario	24 V
Voltiamperios	92 VA
Temperatura de trabajo	-40 a 40 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 a 60 °C
Peso	4 Lb

La figura 14 muestra la forma física que posee el transformador seleccionado.

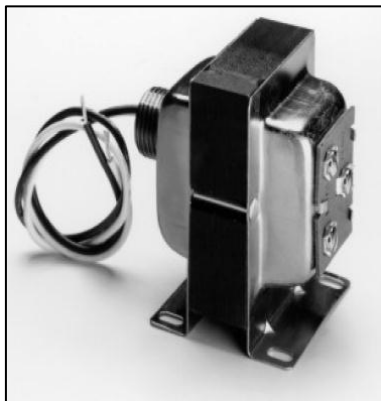


Figura 14. Transformador modelo Y64T15-0

Fuente: Jhonson Controls

6.3. Selección de relays

El relay actúa como el elemento actuador dentro del sistema de control automático y por ende su selección es primordial. El relay seleccionado pertenece a la serie CSD de interruptores de salida diseñados para detectar la corriente que fluye a través de un cable o hilo, facilitando el inicio y la parada del motor. Estas unidades también proporcionan una salida universal de estado sólido y no requieren fuente de suministro de poder ya que son completamente autopropulsados, debido a que obtienen su poder de inducir corriente del cable o línea que está monitoreando. El modelo seleccionado es el CSD-SA1E1-1

Tabla 5. Especificaciones técnicas del relay

Marca	Jhonson Controls
Modelo	CSD-SA1E1-1
Rango de amperaje	1-135 A
Setpoint	Ajustable
Voltaje de salida	10 A a 260 VAC, 5 A a 30 VDC
Accionamiento de bobina	20-30 VAC/VDC, 40-85 mA máximo
Indicación LED	Sí
Calibre de cable	12-22 AWG
Voltaje de aislamiento	600 VAC rms
Temperatura de trabajo	-15 a 60 °C
Frecuencia	50/60 Hz
Dimensiones	65x65x40 mm
Peso	0.35 Lb

La figura 15 muestra la forma física que posee el relay seleccionado.



Figura 15. Transformador modelo Y64T15-0

Fuente: Jhonson Controls

6.4. Selección de termostatos

Como su nombre lo indica este dispositivo es el denominado sensor dentro de los componentes del sistema de control automático. Este elemento se encargará de medir la temperatura en el interior de la bodega y enviar esta señal hacia el controlador para de esta manera los extractores puedan encenderse o apagarse según el setpoint que se seleccione. El termostato escogido es el modelo TE-6341P-1.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del termostato

Marca	Jhonson Controls
Modelo	TE-6314P-1
Tipo	Niquel 1kΩ
Tipo de montaje	De pared
Precisión	±0.19 a 21°C
Coefficiente del sensor de temperatura	Aproximadamente 5.4 Ω/°C
Conexión eléctrica	22 AWG
Material de carcasa	Termoplástico rígido
Placa de montaje	Aluminio
Rango de medición	-46 a 50°C
Peso	0.2 Lb.
Dimensiones	53x79x46 mm

La figura 16 muestra la forma física que posee el termostato seleccionado.



Figura 16. Termostato modelo TE-6314P-1

Fuente: Jhonson Controls

Una vez escogidos los elementos del sistema de control automático se procede a seleccionar un panel con compartimentos para los respectivos controladores. La figura 17 muestra la forma que tiene este panel y el modelo del mismo.



Figura 17. Panel para controladores modelo PA0000001BH0

Fuente: Jhonson Controls

6.5. Diagramas del circuito de control automático

La figura 18 muestra la manera en que se conectarán los extractores con los controladores, de acuerdo a las entradas y salidas del controlador. Se seleccionarán 3 controladores; dos de ellos trabajarán con 4 extractores mientras que el tercer controlador trabajará con 2 extractores.

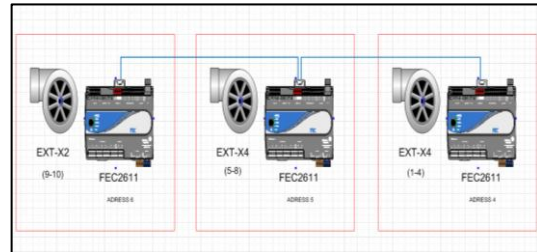


Figura 18. Conexión de controladores

7. Costo del proyecto

Esta sección presenta un análisis del costo que conlleva la instalación del sistema de ventilación y control automático de la bodega, desde su diseño inicial hasta el montaje del mismo.

Para una mejor comprensión se procede a dividir los costos en: costos directos e indirectos para finalmente sumar ambos costos y obtener el costo total del proyecto.

7.1. Costos directos

Tabla 7. Detalle de costos de equipos

Equipos	Modelo	Cantidad	Costo unitario, US\$.	Costo total, US\$.
VENTILACIÓN				
Extractor axial 12000 cfm, 0.125" H2O SP, 565 RPM, 1 Hp	SBE-2L30-15	10	1,050.75	10,507.50
Louver 50" x 50" aluminio autoabatible	GCI-402	10	725.24	7,252.40
Filtro de fibra de vidrio 24" x 24" x 1"		40	7.55	302
CONTROL AUTOMÁTICO				
Controlador automático	MS-FEC2611-0	3	339.69	1,019.07
Transformador	Y64T15-0	1	46.16	46.16
Relay	CSD-SA1E1-1	10	32.74	327.4
Sensor de temperatura	TE-6341P-1	5	10.75	53.75
Panel para elementos de control	PA0000001BH0	1	295.96	295.96
COSTO TOTAL EQUIPOS, US\$.				\$ 19,804.24

Tabla 8. Detalle de mano de obra

Detalle de obra	Personal encargado de realizar la obra	Tiempo de ejecución de la obra (horas/trabajo)	Costo de hora/trabajo maestro o técnico principal, US\$.	Costo de hora/trabajo ayudante, US\$.	Costo total, US\$.
Boquetes para extractores	1 Maestro albañil y 1 ayudante	20	6	3	180
Boquetes para louvers	1 Maestro albañil y 1 ayudante	20	6	3	180
Instalación de extractores	1 Técnico y 1 ayudante	20	10	5	300
Instalación de Louvers	1 Técnico y 1 ayudante	10	10	5	150
Paso de cables de conexión	1 Electricista y 1 ayudante	8	10	4	112
Instalación de elementos de sistema de control	1 Técnico y 1 ayudante	8	12	6	144
Programación de sistema de control	1 Programador especializado	5	75	-----	375
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA, US\$.					\$ 1,441.00

Tabla 9. Detalle de materiales

Detalle	Cantidad	Costo Unitario, US\$.	Costo Total, US\$.
Bobina de cable 12AWG	1	350	350
Bobina de cable 22AWG	2	50	100
Tubo EMT de 1/2 "	80	3.1	248.04
Uniones EMT 1/2"	80	0.2	16.17
Grapas EMT 1/2"	240	0.04	9.36
Cajas EMT 4X4	27	0.8	21.6
Tapa EMT para caja 4X4	27	0.3	8.1
Conectores EMT 1/2"	54	0.21	11.34
Tornillos 1X8	294	0.18	52.92
Taco Fisher F6	294	0.06	17.64
Funda BX 1/2"	10	1.7	17
Conectores de Funda BX 1/2"	10	0.7	7
COSTO TOTAL DE MATERIALES, US\$.			\$ 859.17

Equipos, US\$.	\$ 19,804.24
Mano de obra, US\$.	\$ 1,441.00
Materiales, US\$.	\$ 859.17
COSTOS DIRECTOS TOTAL, US\$.	\$ 22,104.41

Tabla 10. Resumen de costos directos

7.2. Costos indirectos

Tabla 11. Resumen de costos indirectos

Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario, US\$.	Costo Total, US\$.
Alquiler de oficina	mes	1	200	200
Alquiler de bodega	mes	1	100	100
Pago de agua	mes	1	15	15
Pago de luz	mes	1	15	15
Pago de teléfono	mes	1	12	12
Secretaria	mes	1	300	300
Copias	u	100	0.05	5
Impresiones	u	50	0.1	5
Varios	mes	1	100	100
Imprevistos	u	1	1105.22	1105.22
Utilidad	u	1	2,210.44	2,210.44
COSTOS INDIRECTOS TOTAL, US\$.				\$ 4,067.66

7.3. Costo total

El precio de la obra se lo calcula con la suma de los costos directos e indirectos.

Tabla 12. Costo total del proyecto

Costos directos	\$ 22,104.41
Costos indirectos	\$ 4,067.66
Costo total de la obra, US\$.	\$ 25,172.07

8. Conclusiones

Se determinó la ganancia de calor solar dentro de la bodega usando el método de Diferencia Equivalente de Temperatura que se encuentra en el Manual de Carrier. La ganancia de calor comienza a aumentar desde las 2:00 pm y luego a partir de las 5:00 pm comienza a descender, obteniéndose el pico de ganancia térmica solar a las 4:00 pm.

La ventilación proporciona una renovación constante del aire dentro del local, lo cual provoca que el aire contaminado (calor) pueda salir al exterior, asegurando de esta manera una temperatura interior aproximadamente igual a la temperatura exterior a la sombra.

Se eligió el sistema de ventilación por extracción de aire debido a su simplicidad y economía.

El número y la disposición de los extractores se los seleccionó en función del ordenamiento de las estanterías.

Para la selección de los diversos componentes del sistema de ventilación se utilizó el software Caps de la compañía estadounidense Greenheck Fan Corporation.

Para seleccionar los extractores, primero se calculó el caudal de trabajo y luego la caída de presión estática usando el método más crítico (Diagrama de Moody).

Los extractores seleccionados tienen las características de ser compactos, de un buen material, económico en cuanto a consumo de energía y no muy ruidosos ya que giran a bajas revoluciones por minuto.

Se seleccionaron louvers de extracción para las tomas de aire, ya que estos equipos poseen aletas que se abren cuando perciben presiones de vacío y se cierran una vez que la presión ha cesado, es decir, cuando están apagados los extractores, de esta manera se evita que entren a la bodega insectos o cualquier otra partícula.

Los sistemas de extracción tienen la desventaja que permiten la entrada de polvo del exterior, razón por la cual se seleccionaron filtros de aire, los cuales se colocan en cada una de las tomas de aire.

Se implementó un sistema de control automático para el sistema de ventilación de la bodega, esto se lo realizó con el fin de que los

extractores funcionen solamente cuando el caso lo amerite, lo cual se traduce en un ahorro en el consumo energético; además el sistema de ventilación se convierte en inteligente ya que hace nula la intervención humana.

Se eligió un sistema de control de 2 posiciones, es decir, encendido/apagado, debido a la simplicidad que representa, tanto en programación del controlador como en dispositivos extras.

El Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo (Decreto 2393), determina los límites máximos de ruido y ventilación que necesita en un lugar de trabajo, estableciendo un máximo de 85 decibeles de ruido, un mínimo de 6 renovaciones de aire por hora y una corriente de aire con una velocidad máxima de 15 metros por minuto. La implementación del Sistema de Ventilación de la bodega arroja como resultado 76 decibeles de ruido máximo, 7.1 renovaciones de aire por hora y una velocidad del aire de 7.8 metros por minuto, por lo tanto se cumple con el reglamento, asegurando de esta manera una buena condición de trabajo.

El costo de los equipos fue proporcionado por 2 empresas locales; Centuriosa S.A. para el sistema de ventilación y Jhonson Controls para el sistema de control automático.

9. Referencias

- [1] CARRIER CORPORATION, "handbook of Air Conditioning System Design", 1965: McGraw-Hill.
- [2] MECÁNICA DE FLUIDOS – Irving H. Shames 3era Edición – Capítulo 14, Flujo a superficie libre.
- [3] MANUAL PRÁCTICO DE VENTILACIÓN – Soler & Palau
- [4] GUÍA PRÁCTICA DE LA VENTILACIÓN – Woods, Editorial Blume, Barcelona, 1987, pp. 29-55.
- [5] SISTEMAS DE CONTROL PARA INGENIERÍA – Norman S. Nise, 3era Edición, 2004.
- [6] INDUSTRIAL VENTILATION – American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 22ava Edición, 1995.
- [7] REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO (DECRETO 2393). Artículos 53 y 55.