

Estudio de las variables que influyen en el proceso de selección de los ventiladores para presurizar los galpones de pinturas

Estaba*, Richard; Rodríguez, Edgar; Collado, María y Suárez Diógenes

Departamento de Mecánica, Universidad de Oriente,
Puerto La Cruz, Venezuela.

*richard_estabarui@cantv.net

Resumen

El presente trabajo de tipo explicativo tiene como objetivo general analizar las distintas variables que pueden influir en la selección de ventiladores industriales utilizados en la presurización de los galpones de pinturas de una planta ensambladora de vehículos. El estudio del ambiente interior del galpón se hizo con el propósito de determinar el mínimo de aire que debe suministrarse al galpón de acuerdo con la carga térmica generada en su interior. A partir de este requerimiento de flujo fue diseñado el sistema de conducción de aire, como paso previo a la selección de ventiladores. Como resultado más resaltante en este estudio se obtuvo la estimación de un déficit de 80 m³/s en el suministro de aire al interior del galpón como consecuencia del conjunto de variables que se generaron en el interior del galpón. En función de estos hallazgos, se concluye que son necesarios dos ventiladores centrífugos (adicionales) de 40 m³/s contra 870 Pa y 100 HP cada uno para reestablecer las condiciones interiores del galpón y disminuir el efecto que generan las variables interiores en el proceso de presurización.

Palabras clave: Ventilación, galpones, presurización.

Fan selection variables for pressurized painting shed

Abstract

The present work has as general objective to explain and analyze the variables that can influence the selection of industrial fans used in the pressurization of painting sheds for a vehicle assembling plant. The study of the interior atmosphere of the shed was made with the purpose of determining the minimum airflow that should be supplied to the shed to balance the thermal load generated in its interior. Air conduction system for this flow was designed as a previous step to the selection of the fans. The most important result in this study was the estimation of an 80 m³/s deficit in the supply of air to the shed for the given load variables. As a result, this work shows the additional need for two 100 HP centrifugal fans of 40 m³/s, 870 Pa. This will balance the thermal load of the pressurized painting process.

Key words: Ventilation, sheds, pressurization.

Recibido: 25-11-05 Revisado: 04-06-07

1. Introducción

La ventilación industrial consiste en la renovación continua o periódica del aire en el interior de locales habitados para mantenerlos en condiciones de salubridad o de utilización para determinados procesos. Ésta puede ser natural o artificial y tiene como finalidad el mantenimiento de la pureza y de las condiciones prescritas en el aire de un local. En otras palabras, mantener la temperatura, velocidad y nivel de impurezas entre ciertos límites.

Cuando se introduce aire en una edificación se produce un cierto aumento de presión. Si la circulación es uniforme, este aumento de presión será exactamente el necesario para que la cantidad de aire introducida sea la misma que sale por los conductos de ventilación o por las demás aberturas existentes. En la extracción de aire ocurre un fenómeno similar; en este caso se produce una depresión y en consecuencia, se producirá una aspiración en todas las aberturas de la edificación que comuniquen con el exterior o con las habitaciones contiguas por las que entra el aire que reemplazará al extraído.

El presente trabajo forma parte de los proyectos de investigación académico - industrial que desarrolla el Grupo Termofluidodinámica y Mantenimiento (CTYM) del Departamento de Mecánica de la Universidad de Oriente, que se realizó con el apoyo de una planta ensambladora de vehículos, en este caso, ubicada en la zona.

La situación en el sistema de pintura de la planta ensambladora presentaba un comportamiento no acorde con el de actividades desarrolladas en el mismo, ya que el galpón donde se encuentra instalado el sistema debería estar presurizado positivamente, condición imprescindible para mantener una barrera a los contaminantes sólidos (suavizantes, etc.) existentes en el ambiente; y por el contrario este galpón se encontraba presurizado negativamente.

partículas, etc.) existentes en el ambiente, y por el contrario este galpón se encontraba presurizado negativamente actuando como una aspiradora para los contaminantes sólidos del ambiente circundante al mismo.

El sistema de pintura posee cuatro ventiladores centrífugos (casas de aire, Fig. 1) los cuales se encargan de presurización positiva del ambiente interior del galpón, pero su capacidad es insuficiente para lograr tal efecto.

En ese sentido, se plantea el presente trabajo "Estudio de las Variables que Influyen en el Proceso de Selección de los Ventiladores Utilizados para Presurizar los Galpones de Pinturas". Cabe destacar que la investigación se justifica por aportar información de campo y real en el tópico de la ventilación de espacios cerrados, en este caso.

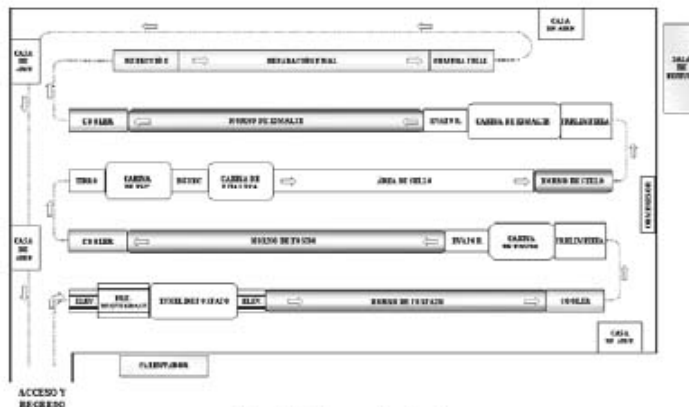


Fig. 1. Sistema de pintura

2. Descripción de las casas de aire

El sistema de ventilación global utiliza cuatro casas de admisión de aire (Fig. 2), los cuales suministran de aire fresco a todo el galpón de pintura.

Para que el aire de suministro entre limpio en el galpón de pintura, éste pasa por unos filtros de alta eficiencia instalados directamente en las casetas. La función de estas casas de aire es la de presurizar positivamente el galpón para evitar la entrada al mismo de agentes exteriores que puedan afectar o contaminar las diferentes aplicaciones internas del sistema de pintura. Estas casetas poseen un ventilador centrífugo cada una, la cual inyecta el aire a través de ducterías distribuidas en el galpón, de forma que lo ventila en su totalidad.

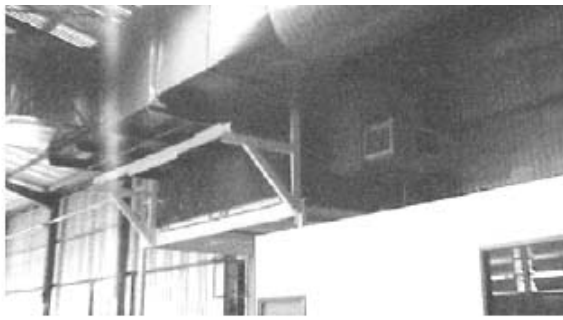
3. Información técnica de los ventiladores

Tabla 1. Datos técnicos de los ventiladores centrífugos de las casas de aire

Equipo	Ventilador	
	Motor	Rodete
Cantidad	4	4
Marca	ASEA	FLÄKT
Modelo	M – 250 M	KDLB-12-2-1-0-1-1-1
Capacidad	-----	30 m ³ /s; 680 Pa
DPotencia	45 kW	34 kW
RPM	1775	1750
Voltaje	415 volt	-----
Amperaje	95 amp	-----
Transmisión de Potencia	Transmisión por correas. 4 correas tipo 71-236-6G 5V 1250 Good Year	Transmisión por correas. 4 correas tipo 71-236-6G 5V 1250 Good Year
Rodamientos	Ext. 6313 Int. 6312 – C3	Ext. e Int. 22213 – EK/C3
Características	Ventiladores centrífugos de entrada doble y con los álabes curvados hacia atrás	

Fig. 2. Casa de aire





4. Variables a considerar para los cálculos de la ventilación mecánica

Los sistemas de ventilación están diseñados para desempeñar una o ambas de las siguientes funciones:

- Controlar olores, mantener niveles aceptables de O₂ y CO y proporcionar cantidades de aire de suministro extracción exigidas por los procesos dentro de un área.
- Mantener la temperatura del espacio (en la medida de lo posible sin acondicionamiento del aire) a la temperatura específica de diseño.

Presión Positiva. Se sugiere que, cuando no existan un reglamento o un requisito del proceso, el espacio ventilado esté bajo presión positiva. Es decir, la cantidad de aire suministrada al espacio será mayor que la cantidad de que se extraiga del mismo. En estas condiciones, la cantidad de aire suministrado puede ser 10% mayor que la cantidad de aire de extracción.

Presión Neutral. La cantidad de aire suministrado es igual a la cantidad de aire extraído.

Presión Negativa. La cantidad de aire suministrado es menor que la cantidad de aire de extracción. De no señalarse un valor específico, la cantidad de aire suministrado no deberá ser menor que el 90% de la cantidad de aire de extracción.

Ganancia de calor del espacio interno. La ganancia de calor del espacio interno es la suma total del calor sensible que proviene de las personas, de las luces, del proceso y de la radiación solar. Sólo en nuestros cálculos de la carga de ventilación es posible pasar por alto las pérdidas de calor del espacio a través de las paredes exteriores, puertas, ventanas y techos, debido a que no se toma en consideración el acondicionamiento del aire (Rosaler, 1998).

Mecanismos de Transferencia de Calor. El calor es energía en tránsito, debido a diferencias de temperatura. La transferencia de calor es una rama de la ingeniería que trata los mecanismos encargados de la transferencia de energía de un lugar a otro cuando existe una diferencia de temperaturas. La ciencia de la transferencia de calor permite determinar la razón, con respecto al tiempo, de energía transferida provocada por un desequilibrio de temperatura.

Existen tres mecanismos básicos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación, los cuales permiten determinar las ganancias o pérdidas de calor (Karlekar y Desmond, 1995).

Cantidad de aire de ventilación. Para calcular la cantidad de aire de ventilación necesaria para mantener la temperatura original de diseño de bulbo seco en el espacio, debe usarse la fórmula siguiente:

$$Q = \frac{\dot{Q}_{ti}}{\rho_a C_{p_a} (T_{int} - T_{ext})} \quad (1)$$

Donde, Q: cantidad de aire de ventilación (m³/s), \dot{Q}_{ti} : ganancia total de calor para el espacio interno (Kw), ρ_a : densidad del aire de suministro (Kg/m³), C_{p_a} : calor específico del aire de suministro a presión constante (KJ/Kg °C), T_{int} : temperatura máxima en el interior del espacio, considerada aceptable (°C) y T_{ext} : temperatura exterior del espacio, es decir, temperatura del aire de suministro (°C) (Rosaler, 1998).

Determinación de la carga total. El flujo del aire en los sistemas de ventilación industrial está gobernado por principios básicos de la mecánica de fluidos: la conservación de la masa y la conservación de la energía. Se tratan leyes "contables" que, básicamente establecen que la masa y la energía no desaparecen sino que se transforman.

La carga o presión requerida para el fluido se determina utilizando tanto la ecuación de Bernoulli como la ecuación de Darcy-Weisbach de la mecánica de fluidos. La ecuación de Bernoulli considera el contenido total de energía mecánica (no térmica) del fluido en cualquier punto del sistema (Kutz, 1996):

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_{r1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (2)$$

(Fluido real – viscoso e incompresible – V1, V2 velocidades medias en las secciones 1 y 2)

Presión total desarrollada por el ventilador. El procedimiento para evaluar la presión (altura de presión) desarrollada por un ventilador es aplicando la ecuación de Bernoulli; sin embargo, la carga (presión) del ventilador suele expresarse como una altura equivalente de columna de agua, en vez de una altura de columna de gas que impulsa, ya que se utilizan manómetros de agua para medir presiones del gas:

$$H_{fw} = \frac{\rho_g}{\rho_w} H_{fg} \tag{3}$$

Donde, Hfw: carga (o presión) desarrollada por el ventilador (f, de fan), expresada como altura de columna de agua (m), Hfg: carga desarrollada por el ventilador, expresada como altura de columna del gas que se impulsa (m), densidad del gas (Kg. /m³) y pw: densidad del agua del manómetro (Kg. /m³) (Kutz, 1996).

5. Resultados y análisis

5.1 Consideraciones generales

Tomando como referencia una temperatura de diseño de trabajo de 32°C (89,6°F), en primer lugar se calcula la cantidad de calor que se debe disipar del interior del galpón proveniente de:

- Calor generado por los ocupantes del espacio.
- Calor generado por la iluminación.
- Calor generado por los equipos.

En segundo lugar, se determina la cantidad de aire que es necesario suministrar al galpón, para que el ambiente mantenga bajo las condiciones establecidas.

Tabla 2. Calor total disipado hacia el galpón de pintura por las fuentes generadoras

Fuente	Calor, kW (BTU/hr)
Ocupantes	77,43 (26421,2)
Iluminación	81,31 (277429,7)
Equipos	
Motores	1104,9 (3769918,8)
Hornos de secado	33,55 (114472,6)
Calentador	34,68 (118328,2)
TOTAL	1331,87 (4544340,4)

5.2 Cantidad de aire de suministro

La cantidad de aire de ventilación necesaria para mantener la temperatura original de diseño de bulbo seco determina realizando el balance de energía y el balance másico del proceso en el galpón de pintura.

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{Q} = \dot{m}_2 h_2 \tag{4}$$

donde: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_a$

Teniendo en cuenta la definición de densidad de una sustancia y considerando que el calor específico del aire (Cpa) es aproximadamente constante en el rango de temperatura de interés, el cambio de entalpía del aire se puede expresar como: $h_2 - h_1 = C_{pa} (T_2 - T_1)$ Haciendo las sustituciones respectivas se obtiene la Ec. 1.

Aplicando la Ec. 1, con $\rho_a = 1,21 \text{ Kg./m}^3$ (0,075 lbm/ft³), $C_{pa} = 1,005 \text{ KJ/Kg-}^\circ\text{C}$ (0,240 BTU/lbm-°F), T_{ir} temperatura máxima en el interior, considerada aceptable, 38 °C (100,4 °F), T_{ext} = temperatura ambiental exterior 32 °C (89,6 °F) y teniendo en cuenta un 10% adicional al calor total: $Q_A = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ (423.776 ft³/min).

5.3 Balance de masa

En el galpón de pintura funcionan simultáneamente un conjunto de ventiladores y extractores localizados en una de las cuatro líneas principales del proceso de pintura. Estos equipos de forma directa o indirecta contribuyen a suministrar y extraer aire del galpón. Aplicando el principio de la Conservación de la Masa, se tiene:

$$Q_A = \sum Q_e - \sum Q_s \tag{5}$$

donde: Q_e : caudal de aire que entra ($268,2 \text{ m}^3/\text{s}$) y Q_s : caudal de aire que sale ($148,26 \text{ m}^3/\text{s}$)
 $Q_A = 119,94 \text{ m}^3/\text{s} \approx 120 \text{ m}^3/\text{s}$ ($254.265,6 \text{ pie}^3 / \text{min}$)

Comparando los dos últimos cálculos, se puede apreciar que se deben suministrar $200 \text{ m}^3/\text{s}$ netos al galpón, y por el contrario, sólo se manejan $120 \text{ m}^3/\text{s}$ netos, lo que indica que existe un déficit de alrededor de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ($169.5 \text{ pie}^3/\text{min.}$) de aire. Con la adición de esta cantidad de aire se lograría la disipación del calor generado dentro del galpón y además se alcanzaría la presurización (presión positiva) definitiva del galpón de pintura. La distribución de los $80 \text{ m}^3/\text{s}$ de aire adicionales se hará mediante dos nuevos sistemas de suministro de aire con una capacidad de $40 \text{ m}^3/\text{s}$ cada uno.

El sistema de ventilación mecánica tiene como objetivo principal introducir el flujo de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ adicionales al galpón de pintura y cuyo efecto contribuirá al incremento de la presión positiva (presurización) conjuntamente con el sistema actual.

El sistema de ventilación mecánica a utilizar es el Sistema de Ventilación por Suministro, el cual se fundamenta en la inyección de aire fresco y no contaminado al interior del local por medio de ventiladores y la salida del aire a través de las aberturas existentes en la edificación.

El dimensionado o tamaño del sistema de ductos de suministros es definido por la máxima velocidad del aire que puede utilizarse de tal forma de no producir ruidos, vibraciones molestas o causar pérdidas excesivas de presión por fricción; y se mantiene un diseño de sección transversal circular y una construcción de su estructura con chapa galvanizada; esto con la finalidad de mantener la estética con el actual sistema de suministro. La geometría y el espacio físico disponible es considerada a fin de obtener la distribución del sistema de los ductos lo más sencilla y simétrica posible.

5.4 Presión estática del ventilador

La presión estática que el ventilador debe entregar es la suma de la pérdida de carga total efectiva del sistema de suministro ($\Delta P_T = 269,7 \text{ Pa}$) y la pérdida de carga en la succión ($\Delta P_{SUC} = 530 \text{ Pa}$). Además se agrega un 10 % como factor de seguridad para el sistema. Esto es:

$$\Delta P_{VENT} = 1,1 * (\Delta P_T + \Delta P_{SUC}) \quad (6)$$

$$\Delta P_{VENT} = 879,67 \text{ Pa} \approx 880 \text{ Pa} \quad (3,55 \text{ plg agua})$$

5.5 Selección de los equipos de suministro de aire

Para la selección de los dos ventiladores adicionales del galpón de pintura, éstos deberán ser capaces de vencer las Reglas de disparo.

Presión estática de por lo menos la calculada anteriormente y manejar el flujo de aire especificado.

Una vez considerado el 10 % extra como factor de seguridad tanto en los requisitos de caudal como en la presión estática, los requerimientos de los dos nuevos sistemas de suministro de aire indican que los ventiladores a instalar deberán poseer las siguientes características nominales como mínimo:

Con estos valores se va al catálogo de selección de ventiladores, de cualquier fabricante, y se escogen los ventiladores con dichas características como mínimo.

Se debe mencionar que ambos ventiladores serán equipos que funcionarán en condiciones ambientales de presión atmosférica y a una altura sobre el nivel del mar, y por lo tanto funcionarán con una densidad estándar del aire de $1,21 \text{ Kg./m}^3$ ($0,075 \text{ lb/pie}^3$). Debido a estas condiciones de funcionamiento no se requiere de un factor de corrección para las condiciones de los ventiladores.

Finalmente, con las condiciones nominales anteriores se seleccionaron dos ventiladores centrífugos de entrada directa con los álabes curvados hacia atrás, marca FREDIVE, modelo DFP - 54, $40 \text{ m}^3/\text{s}$ contra 870 Pa y potencia de accionamiento 100 HP .

6. Conclusiones

- Se determinó que existe un déficit de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ de aire en el galpón de pintura, debido a que se deben suministrar $200 \text{ m}^3/\text{s}$ de aire y por el contrario sólo se suministran $120 \text{ m}^3/\text{s}$.
- El flujo mínimo de aire de suministro al galpón de pintura tiene su base en el calor producido dentro del mismo, es decir, la carga térmica interior, y no en la carga exterior, debido a que este trabajo no se trata de acondicionar el ambiente del galpón sino ventilarlo.
- Basado en las condiciones de funcionamiento y operación se seleccionaron dos ventiladores centrífugos de rodillos dobles con los álabes aerodinámicos de $40 \text{ m}^3/\text{s}$ contra 870 Pa , motor de 100 HP y transmisión de potencia mediante

poleas y correas, cada uno.

Referencias

1. Avallone E, Baumeister-III T, 1995, Manual del Ingeniero Mecánico, Tomo II, Novena edición (tercera edición español), Editorial McGraw-Hill, México.
2. Baturin VV, 1976, Fundamentos de ventilación industrial, Editorial Labor S.A., España.
3. Karlekar B y Desmond R, 1995, Transferencia de calor, Segunda edición, Editorial McGraw-Hill, México.
4. Kutz M, 1996, Enciclopedia de la mecánica, Ingeniería y Técnica, Vol. 7. Editorial Océano, España.