

SOPLADOR DE ALTA EFICIENCIA DE MENOS DE 50 CABALLOS DE FUERZA

REPORTE: ET11SCE1140 REPORT



Preparado Por: (Febrero, 2012.)

*Design & Engineering Services
Customer Service Business Unit
Southern California Edison*

*Servicios de Diseño e Ingeniería, Unidad de
Servicio al Cliente, Southern California Edison*



Traducción Realizada por: (Diciembre, 2016.)

Provedora de Insumos Acuícolas, S.A. de
C.V. Avenida Doctor Carlos Canseco No.
5994, 1er. Piso, Col. El Cid, C.P. 82110
Mazatlán, Sinaloa
MÉXICO | TEL: +52 (669) 954-0282



Reconocimientos

El grupo de diseño e ingeniería del Sur de California Edison es responsable de este proyecto. Fue desarrollado como parte del Programa de Tecnologías Emergentes del Sur de California Edison bajo el número de proyecto interno ET11SCE1040. Director de Proyectos Charles Kim, P.E. Llevó a cabo esta evaluación de la tecnología con la orientación general y la gestión de Paul Delaney. Para obtener más información sobre este proyecto, póngase en contacto con Charles Kim en Charles.kim@sce.com.

Aviso Legal

Este informe fue preparado por Southern California Edison (SCE) y financiado por clientes de servicios públicos de California bajo los auspicios de la California Public Utilities Commission. Queda prohibida la reproducción o distribución total o parcial del contenido de este documento sin el permiso expreso por escrito de SCE. Este trabajo se realizó con un cuidado razonable y de acuerdo con los estándares profesionales. Sin embargo, ni SCE ni ninguna entidad que realice el trabajo de acuerdo con la autoridad de SCE, hará garantía o representación, expresa o implícita, con respecto a este informe, la comerciabilidad o idoneidad para un propósito particular de los resultados del trabajo, o cualquier análisis, de las conclusiones contenidas en el presente informe. Los resultados reflejados en el trabajo son generalmente representativos de las condiciones de operación; Sin embargo, los resultados en cualquier otra situación pueden variar dependiendo de las condiciones de funcionamiento particulares.

RESUMEN EJECUTIVO

Es muy común el uso de sistemas de aire de soplado en el segmento industrial para procesos de producción de tipo soplado abierto tales como enfriamiento, secado, eliminación de desechos, limpieza y mezcla. Sin embargo, puede ser una solución costosa e ineficiente si se usa de forma inapropiada y no se mantiene para un rendimiento óptimo. Además, las oportunidades de ahorro de energía asociadas con estas aplicaciones industriales son generalmente muy complicadas. Requieren un conocimiento profundo de los procesos y controles necesarios tanto para los productos como para su uso, y se logran mediante las siguientes medidas:

1. Sustitución del sistema existente por un componente más eficiente,
2. Agregar controles para mejorar el rendimiento general del sistema, y
3. Re-evaluación e implementación de un diseño alternativo del proceso de producción.

Este proyecto se centra en la "Re-evaluación e implementación de un diseño de proceso de producción alternativo" para un proceso de soplado abierto. Más específicamente, este proyecto aborda la factibilidad técnica de reemplazar un sistema de soplado por debajo de 50 caballos de fuerza (hp) por uno más eficiente en energía.

Southern California Edison (SCE) realizó una evaluación de campo en un sitio de producción de estireno, Americas Styrenics, LLC ubicado en Torrance, California. Este sitio fue seleccionado porque tenía sopladores dedicados para una aplicación de soplado abierto (es decir, la eliminación del agua de sus productos). Su nivel de producción fue relativamente constante durante todo el año, y funcionó 24 horas al día, más de 50 semanas al año. El cliente eligió una línea de producción de estireno, con un sistema de soplado de 25 HP, para la evaluación técnica. Debido a esta evaluación, se diseñó un sistema alternativo que consistía en un soplador centrífugo de 7,5 hp, dos juegos de cuchillas de aire diseñadas y un conducto flexible. El nuevo sistema de soplador fue luego rediseñado, teniendo en cuenta la presión de descarga y la tasa de flujo de aire existentes del ventilador de 25 HP.

Las pruebas del sistema de referencia se llevaron a cabo en mayo y noviembre de 2011 y demostraron que se podrían lograr ahorros significativos de energía reemplazando el sistema de soplado existente por uno de eficiencia energética.

TABLA 1. RESUMEN¹ DE AHORROS ENERGÉTICOS Y REDUCCIONES POTENCIALES DE LA DEMANDA.

RESUMEN DE AHORROS ENERGÉTICOS Y REDUCCIONES POTENCIALES DE LA DEMANDA

	SISTEMA EXISTENTE	SISTEMA NUEVO	AHORROS DE ENERGÍA
Promedio de kW	13.2 kW	5.1 kW	8.1 kW
Estimado de kWh por año ²	114,000 kWh	43,900 kWh	69,700 kWh

Los resultados de esta evaluación de campo apoyan la premisa de que un sistema de soplado de alta eficiencia puede proporcionar ahorros de energía significativos y reducciones de la demanda potenciales para procesos de soplado abierto. Un ahorro acumulativo de energía fue posible mediante la implementación de mejoras de diseño y la elección de un soplador de energía eficiente.

Mejoras en el diseño: 40% de ahorro. SCE aplicó la velocidad de descarga de aire ideal en el nuevo diseño para la aplicación de soplado abierto para eliminar el agua.

Avance Tecnológico - 20% de ahorro. El nuevo soplador es aproximadamente 15 a 20 por ciento más eficiente debido a los avances en los diseños del fabricante en la manipulación de los parámetros aerodinámicos de la entrega de aire. La selección de cuchillas de ingeniería (que proporcionan flujo de aire laminar continuo) y un conducto flexible (que reduce las caídas de presión), también contribuyó al ahorro de energía.

En base a los resultados de esta evaluación, SCE recomienda:

- Llevar a cabo evaluaciones adicionales para estimar los ahorros de energía asociados con cada componente del nuevo sistema de ventilación. Esto consiste en 1) un nuevo motor de soplador eficiente, 2) dos conjuntos de cuchillos de aire de ingeniería, y 3) un conducto flexible.
- Llevar a cabo estudios adicionales para validar presiones ideales y niveles de caudal para diversas aplicaciones de soplado abierto para proporcionar un enfoque de medida de

eficiencia expresó para este tipo de medidas.

- Trabajar con el cliente para explorar oportunidades adicionales de reducción de energía y demanda para otras aplicaciones de soplado abiertas que existen en este sitio; El cliente tiene cuatro líneas de producción adicionales de soplado abierto.
- Los programas de eficiencia energética de SCE deberían explorar formas de eliminar las barreras de mercado asociadas con los costos de eliminación y eliminación de equipos existentes. Una posible solución es retirar alguna parte aceptable del sistema existente, por ejemplo, retirar los soplantes sin retirar todos los conductos rígidos. Esta opción aceleraría el período de amortización reduciendo los costos asociados con la remoción del equipo existente.

¹ La propagación de errores es menor que $\pm 1,1$ por ciento.

² Basado en las 8.600 horas de funcionamiento anuales

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

°F	Grados Fahrenheit
CAGI	Aire Comprimido
cfm	pies cúbicos por minuto
DEER	Base de datos de recursos energéticos eficientes
DES	Diseño y Servicios de Ingeniería
GWh	Gigawatt por hora
hp	Caballos de Fuerza
K.E.	Energía Cinética
kg	Kilogramo
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt por hora
psi/psig	Libra por pulgada cuadrada/Libra por pulgada cuadrada
sec	Segundo

CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN	9
TECNOLOGÍA EMERGENTE / PRODUCTO	11
OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN	16
TECNOLOGÍA / PRODUCTO EVALUADO	18
ENFOQUE TÉCNICO / METODOLOGÍA DE PRUEBAS	20
RESULTADOS	23
ANÁLISIS DE ERRORES	24
EVALUACIONES	25
Medir la presión y la tasa de flujo de aire del sistema existente	28
Comprender el proceso de producción	28
Diseñar un nuevo sistema de soplado	29
Una forma de identificar sopladores insuficientes - Temperatura	34
Prácticas recomendadas para la eliminación de agua por proceso de soplado abierto	34
RECOMENDACIONES	35

FIGURAS:

Figura 1. Trayectoria del Flujo de Aire de los Sopladores de Aire Centrífugos	9
Figura 2. Termodinámica de la Compresión de Aire (Temperatura vs. Entropía)	12
Figura 3. Sección Transversal del Soplador Centrífugo	14
Figura 4. Navaja (cuchilla) de Aire	15
Figura 5. Conducto / Manguera Flexible	16
Figura 6. Sistema de Soplador Existente ("Descarga de Aire Existente") y Nuevo Sistema de Soplador Navaja (cuchilla) de Aire	19
Figura 7. Posición de la Cama Seca y las Posiciones de la Descarga de Aire Existente y de la Nueva Navaja / Cuchilla de Aire	22
Figura 8. Dos horas de datos de soluciones de EE recolectadas (Lectura de un kilovatio por minuto)	26
Figura 9. Dos horas de datos de soluciones de EE recolectadas (Lectura de un kilovatio por minuto)	27
Figura 10. Eficiencia del ventilador frente al punto de funcionamiento del ventilador	31

TABLAS:

Tabla 1. Resumen de los Ahorros Energéticos y la Demanda Potencial Reducciones	3
Tabla 2. SCE's Blower Tamaño del Mercado y Disponibilidad de Technical Recursos	10
Tabla 3. Estadísticas de Data Collected Comparing Baseline y EE Solución	23
Tabla 4. Resumen de los Ahorros Energéticos y la Demanda Potencial Reducciones	25
Tabla 5. Comparación de Potencia Cinética: Ventilador Existente vs. Nuevo Ventilador	30
Tabla 6. Atributos del Diseño y Mejoras Tecnológicas	32
Tabla 7. Eficiencia - Motor Estándar Contra Motor NEMA Premium	33
Tabla 8. Diferencia de Temperatura Entre la Entrada (T1) y la Descarga (T2) Aire	34

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de ventilación de aire son muy útiles y valiosos entre varios clientes comerciales, agrícolas e industriales. Debido a su versatilidad, a menudo estos sistemas se utilizan para soplar de forma abierta los tipos de procesos de producción tales como refrigeración, secado, eliminación de residuos, limpieza y mezcla. El rendimiento de estos procesos comunes puede ser más eficaz mediante el uso de sopladores de aire eficientes, que en muchos casos proporcionan reducciones significativas de energía y demanda.

Un ventilador industrial (soplador centrífugo) tiene típicamente uno de varios tipos de impulsor. El impulsor extrae aire en la entrada de la carcasa del soplador y luego descarga el aire en un ángulo de 90 grados a través de la ventilación de descarga de la carcasa. La figura 1 ilustra la trayectoria de aire del ventilador industrial.

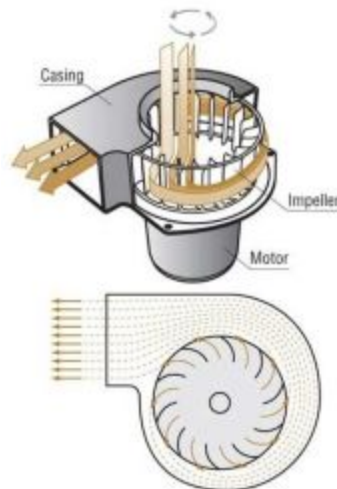


FIGURA 1. FLUJO DE AIRE DE LOS SOPLADORES DE AIRE CENTRÍFUGO

Según el estudio de 2006 de la compañía Pacific Gas and Electric Company (estudio de PG & E 2006), los sopladores y los ventiladores consumen aproximadamente 1.300 gigawatt-horas

(GWh) por año solamente en el territorio de SCE³. Este es el cuarto componente de consumo de energía eléctrica entre los clientes industriales y, sin embargo, a diferencia de los sistemas de bombas, iluminación o aire comprimido, todavía no contamos con un estándar de pruebas de eficiencia reconocido por la industria ni con recursos técnicos para promover las mejores prácticas, ver Tabla 2. SCE, por lo tanto, ha estado trabajando con otros servicios públicos a través del Consorcio de Eficiencia Energética para alentar al Instituto de Aire Comprimido y Gas (CAGI) a desarrollar una prueba de eficiencia de rendimiento energético para los sopladores⁴. Cuando el estándar esté disponible, los ingenieros de diseño, los clientes y las empresas de servicios públicos con programas de eficiencia energética podrán identificar fácilmente los sopladores de energía eficiente en el mercado.

TABLA 2. TAMAÑO DEL MERCADO DEL VENTILADOR DE SCE Y DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS TÉCNICOS.

	Componente (Sector Industrial)	SCE tamaño del Mercado ⁵ (GWh/año)	Prueba Estándar de Eficiencia	Recursos para las mejores prácticas
1	Bombeo	2,400	Instituto Hidráulico	Si
2	Iluminación	1,600	Organización Internacional para Estándares, Estrellas de Energía	Si
3	Compresor	1,400	Organización Internacional para Estándares, CAGI	Si
4	Soplador/Ventilador	1,300	Ninguno	Ninguno o Limitado

El estudio de PG & E 2006 también sugiere que el potencial de ahorro de energía para los sopladores es de aproximadamente el 30 por ciento⁶. Este proyecto de evaluación de campo examinó este potencial de ahorro de energía del 30 por ciento de nuevas mejoras de diseño y de una perspectiva de reacondicionamiento.

³ Pacific Gas and Electric Company, "Estudio de Potencial de Eficiencia Energética de la Construcción Existente de la Industria de California", 2006, p. 3-4 y 3-5

⁴ ET11SCE5020, "Desarrollo del patrón de pruebas de soplado", en curso.

⁵ Derivado de Pacific Gas and Electric Company "Estudio de Potencial de Eficiencia Energética de la Construcción Existente de California", 2006, p. 3-4 y 3-5

⁶ Ibid

TECNOLOGÍA EMERGENTE / PRODUCTO

El rendimiento de eficiencia de los sopladores centrífugos depende principalmente del diseño de cada fabricante en la manipulación de los parámetros aerodinámicos de suministro de aire. A nivel de componentes, el diseño del impulsor, el diseño de la carcasa del impulsor y el manejo de la temperatura del aire pueden causar diferencias significativas en la eficiencia del ventilador. Por ejemplo, la eficiencia isentrópica⁷, (relación entre el trabajo isentrópico y el trabajo real) está dada por:

$$\eta = T_1 \frac{(P_1/P_2)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{T_2 - T_1}$$

Dónde;

P es la presión

T es la temperatura

k es la relación del calor específico

Nota: Los términos de presión y temperatura representan condiciones de entrada y descarga como se describe en los subíndices 1 y 2, respectivamente.

Ecuación 1

Un control eficaz de la temperatura del aire (es decir, $T_2 - T_1$) como se describe en Error! **Fuente de referencia no encontrada (Error! Reference source not found)**., Es inversamente proporcional a la eficiencia. Por lo tanto, un diseño que reduce las diferencias de temperatura entre la entrada (T_1) y la descarga (T_2) es una manera de aumentar la eficiencia del ventilador mientras se mantienen los niveles de presión. Este fenómeno físico se representa claramente en la Figura 2. Cuando un soplador, llamémoslo "Soplador A", comprime el aire de entrada a un nivel de presión " P_1 " y descarga a una presión de " P_2 ", la temperatura del aire cambia de T_1 a T_{2a} . Otro ventilador, soplador B, puede comprimir el aire de P_1 en T_1 a P_2 en T_{2b} . El caso ideal (es decir, sin pérdida de energía), es la compresión isentrópica donde el cambio de temperatura es de T_1 a T_{2i} . Claramente, la temperatura de descarga del ventilador B, T_{2b} , está más alejada de la temperatura ideal de T_{2i} que la temperatura de descarga del ventilador A en T_{2a} . Esto significa que el Soplador B genera más calor (es decir, pérdida de energía debido al calor) durante el

proceso de compresión de aire que el Soplador A. Esto hace que el Soplador A sea más eficiente energéticamente que el Soplador B.

⁷ Es un proceso termodinámico donde el cambio de entropía es cero. La entropía es la suma de la cantidad infinitesimal de calor cuando se añade al sistema a temperatura absoluta durante todo el proceso.

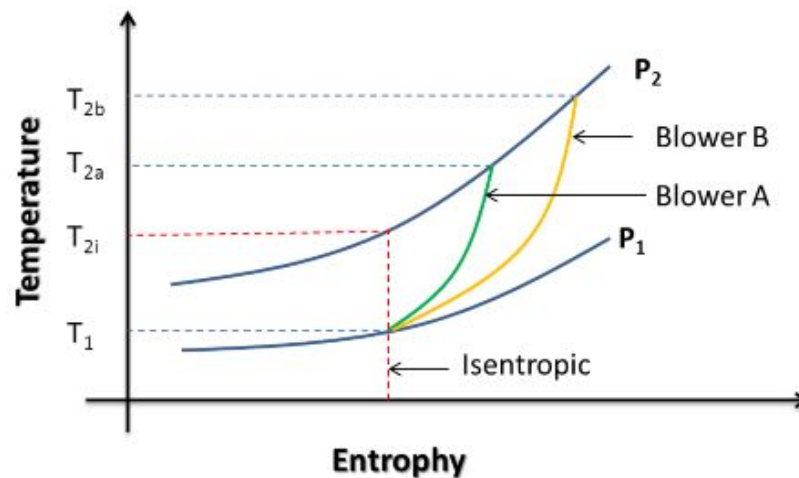


FIGURA 2. TERMODINÁMICA DE COMPRESIÓN DE AIRE (TEMPERATURA VS ENTROPÍA)

Según la "Primera Ley de la Termodinámica", tenemos:

$$Q = W + U$$

Dónde:

Q = Energía de Calor, W = Trabajo y U = Energía Interna

Ecuación 1

Para un proceso adiabático (es decir, ninguna energía entra o sale del sistema por calor), tenemos:

$$W = Cp (T2 - T1)$$

Donde Cp es "coeficiente de calor específico del aire". Combinando esta ecuación y la ecuación 1 juntas, tenemos:

$$W = Cp \cdot \frac{T_1}{\eta} \cdot \left(\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\kappa-1} \right)^{\kappa-1}$$

En términos de potencia, la ecuación anterior se puede escribir como:

$$hp = c \cdot cfm \cdot \frac{T_1}{\eta} \cdot \left(\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\kappa-1} \right)^{\kappa-1}$$

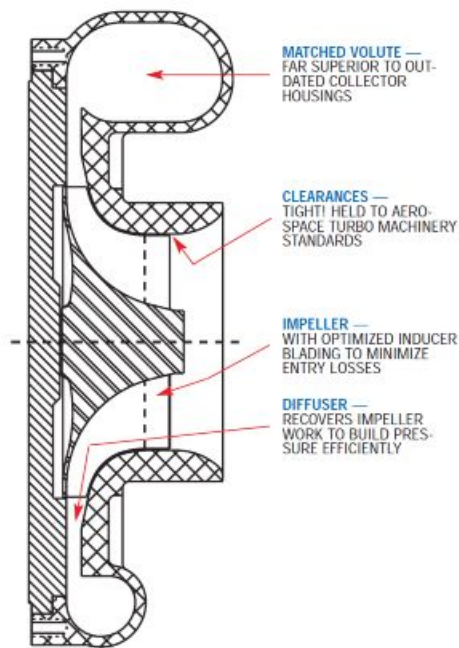
Donde "cfm" es la tasa de flujo de aire en pies cúbicos por minuto, y "c" es una constante que refleja el factor de conversión y el coeficiente específico de calor del aire.

Ecuación 2

De acuerdo con la Ecuación 2, un soplador requiere menos potencia cuando su eficiencia es mayor. Esto podría significar que un diseñador de procesos podría determinar la potencia al conocer la eficiencia del ventilador, la presión y los requerimientos de velocidad de flujo de aire. Lamentablemente, este no es un proceso de diseño típico. Típicamente, el diseñador determina los requerimientos de presión y caudal de aire para producciones, y luego los vendedores suministran un soplador, sin especificar la eficiencia del soplador. La falta de recursos técnicos puede atribuir a la actual práctica de diseño la no especificación de la eficiencia del ventilador.

Actualmente, SCE tiene sopladores comercialmente disponibles que se aproximan al nivel de eficiencia de 75 a 80 por ciento a la presión óptima de funcionamiento y al caudal de aire. Hay varias maneras de aumentar la eficiencia de los sopladores. Una forma es mejorando el diseño del impulsor que aumenta la aerodinámica del aire comprimido difundiendo eficazmente el aire en su alojamiento con pérdida mínima de aire o caídas de presión; Véase la figura 3. Este diseño

también reduce la diferencia de temperatura entre aire de entrada y descarga, es decir, ($T_2 - T_1$), en **Error! Fuente de referencia no encontrada (Error! Reference source not found)**., Por lo tanto, aumentando la eficiencia del soplador.



VOLUTA IGUALADA -

MUY SUPERIOR A LAS ANTICUADAS CAJAS COLECTORAS

TOLERANCIAS -

AJUSTADO. DISEÑADAS Y FABRICADAS A ESTÁNDARES DE MAQUINARIA TURBO AEROSPAcial

IMPELENTE -

CON ASPAS DE INDUCTOR OPTIMIZADAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS DE ENTRADA

DIFUSOR -

IMPELENTE DE RECUPERACIÓN TRABAJA PARA CONSTRUIR PRESIÓN EFICIENTEMENTE

FIGURA 3. SECCIÓN CRUZADA DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO ⁸

Además de tener un soplador de energía eficiente, una cuchilla o navaja de aire de ingeniería específica también juega un papel clave en la mejora del rendimiento del sistema de soplador. La navaja de aire, como se muestra en la Figura 4, está diseñada para proporcionar flujo de aire laminar continuo y elimina o reduce la turbulencia del aire que aumenta la pérdida de energía.

La cuchilla de aire de ingeniería, por lo tanto, puede aumentar la eficiencia energética para los procesos industriales de soplado abierto en comparación con las boquillas convencionales o aberturas hechas a mano para descargar aire para uso en producción.

⁸ Presentado con permiso de Vortron Industrial.



FIGURA 4. NAVAJAS / CUCHILLAS DE AIRE

Un conducto rígido que conecta el soplador y las **navajas de aire** puede aumentar las caídas de presión y crear un flujo de aire que es más turbulento cuando el conducto gira en un ángulo agudo, especialmente en un ángulo de 90 grados. Un conducto flexible con una superficie interior lisa puede reducir las caídas de presión y el flujo de aire turbulento haciendo el ángulo de 90 grados más suavemente con un mayor radio de curvatura. Este tipo de conducto flexible está fácilmente disponible en el mercado; Véase la figura 5.



FIGURA 5. CONDUCTO FLEXIBLE

La tecnología emergente que se está considerando para esta evaluación de campo es, por lo tanto, una combinación de:

- Soplador de energía eficiente que aumenta la aerodinámica del aire comprimido mediante la difusión efectiva del aire en su alojamiento con pérdida mínima de aire o caídas de presión.
- Navaja (cuchilla) de aire proporciona flujo de aire laminar continuo y elimina o reduce la turbulencia del aire.
- Conducto flexible que reduce las caídas de presión y la turbulencia.
- Presión ideal y caudal de aire para procesos de soplado abierto.

OBJETIVOS DE EVALUACIÓN

Esta evaluación de campo busca determinar la factibilidad técnica de reemplazar un sistema de soplado por debajo de 50 hp con un sistema de soplador más eficiente de energía para el ahorro de energía y la reducción potencial de la demanda.

La tecnología tradicional para este sitio fue un soplador de 25 hp conectado a un conducto

rígido de 6 pulgadas de diámetro que tenía aproximadamente 30 pies de largo y formaba nueve ángulos de 45 grados antes de descargar el aire. La sección de descarga de aire estaba hecha del mismo conducto con una abertura de 1,75 pulgadas de ancho y 28 pulgadas de largo. La presión de descarga era sólo de aproximadamente 0,2 libras por pulgada cuadrada (psig), indicando una caída de presión significativa a lo largo del conducto. La velocidad de flujo de aire era de aproximadamente 1.000 pies cúbicos por minuto (cfm). La medición del punto indicó que la temperatura de entrada era de 80 grados Fahrenheit (° F) y la temperatura de descarga al final del conducto de 6 pulgadas era 89 ° F.

La tecnología propuesta fue Vortron Industrial (Vortron) de 7.5 hp soplador, elegido por las Américas Styrenics, LLC ("Cliente", "Proyecto Sitio"), con dos ingeniería de 36 pulgadas de largo aire cuchillos y un conducto flexible de unos 15 pies de largo. Este soplador suministró aproximadamente 540 cfm a 2,2 psig. Un ingeniero de Vortron diseñó estos parámetros de funcionamiento. El diseño se basó en el rendimiento del ventilador existente (por ejemplo, el nivel de presión de descarga y la velocidad de flujo de aire) así como su experiencia de campo en aplicaciones de soplado abierto. La temperatura de entrada en el sitio del proyecto era 80 ° F y la temperatura de descarga en el extremo del conducto de 3 pulgadas estaba entre 83 ° F y 84 ° F.

Para determinar la diferencia en el consumo de energía, se controlaron ambos sopladores mientras cumplían los requisitos de producción (por ejemplo, produciendo un producto a la velocidad de 14.000 libras por hora).

El término "reducción de la demanda potencial" se utiliza a continuación para diferenciarlo de la definición de la "demanda de pico promedio" de la base de datos de recursos energéticos eficientes de California (DEER). DEER lo define como:

"... el impacto medio del nivel de la red para una medida entre las 2:00 p.m. Y 5:00 P.M. Durante tres periodos de semana consecutivos comparando la temperatura de la semana con la temperatura más caliente del año ".

El período de prueba no cae dentro de los periodos definidos por DEER. Por lo tanto, se utiliza el

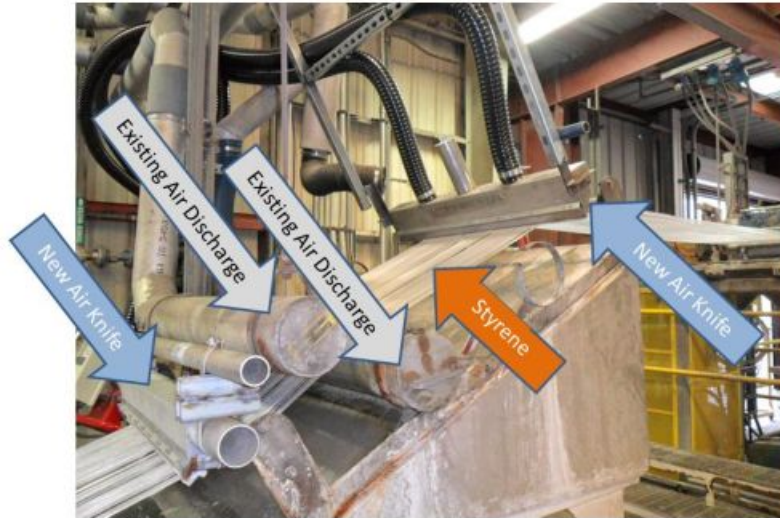
término "deducción de demanda potencial", aunque esta medida puede reducir potencialmente la demanda de pico si estuviera operando durante los períodos definidos por DEER.

TECNOLOGÍA / PRODUCTO EVALUADO

El estireno es un hidrocarburo orgánico incoloro que puede convertirse en un polímero con propiedades termoplásticas. Se utiliza en caucho, plástico, aislamiento, fibra de vidrio, tuberías, contenedores de alimentos, partes de automóviles y barcos, etc. Este sitio fue seleccionado para la evaluación de campo porque tenía sopladores dedicados para una aplicación de soplado abierto (es decir, Productos). Por otra parte, su nivel de producción de estireno fue relativamente constante durante todo el año, corriendo 24 horas al día, más de 50 semanas al año. El cliente para la evaluación técnica eligió una línea de producción de estireno con un sistema de soplador de 25 hp.

Vortron, un proveedor de terceros, midió la presión de descarga y la tasa de flujo de aire de los sistemas de soplado existentes de 25 hp para diseñar un nuevo sistema. El nuevo sistema consistió en:

- 1) un soplador centrífugo de 7,5 hp,
- 2) dos juegos de **cuchillas de aire**, y
- 3) un conducto flexible.



New Air Knife = Nueva Navaja de Aire

Existing Air Discharge = Existing Air Discharge

Styrene = Estireno

FIGURA 6. SISTEMA DE VENTILADOR EXISTENTE ("DESCARGA DE AIRE EXISTENTE") Y SISTEMA DE NUEVO VENTILADOR ("NUEVO CUCHILLO DE AIRE")

Esta evaluación de campo busca determinar la factibilidad técnica de reemplazar un sistema de soplado por debajo de 50 HP con un sistema de soplador más eficiente de energía para el ahorro de energía y la reducción potencial de la demanda.

ENFOQUE TÉCNICO / METODOLOGÍA DE PRUEBA

La siguiente ecuación es la base para evaluar el nivel de eficiencia energética para el sistema de soplador existente versus nuevo:

$$\text{Efficiency} = \text{Production Hour (output)} / \text{kilowatt (input)}$$

$$\text{Eficiencia} = \text{Hora Producción (salida)} / \text{kilowatt (entrada)}$$

La tasa de producción cambió de 14.000 a 24.000 libras por hora dependiendo de las composiciones químicas del estireno producido. Sin embargo, la condición de funcionamiento del ventilador existente permaneció constante debido a que la superficie de diferentes cadenas de estireno permaneció relativamente constante independientemente de la velocidad de producción en términos de su peso. Es decir, el soplador funcionaba a la misma velocidad para eliminar el agua de la misma superficie de los productos de estireno independientemente de su peso. Por lo tanto, la hora de producción podría utilizarse para medir la "producción" y el kW de cada ventilador podría utilizarse para "entrada" en la estimación de la eficiencia. Más sencillamente, se podría comparar las lecturas de kW para determinar la eficiencia cuando el nivel de producción era constante. Por lo tanto, se llevaron a cabo los siguientes tres pasos para evaluar el ahorro energético y la reducción potencial de la demanda:

Paso 1: Establezca la línea base capturando el uso de energía de los sopladores de 25 hp existentes durante dos semanas. Esto verificaría;

- 1) una producción de 24 horas al día, 7 días a la semana, y
- 2) nivel de operación constante de los sopladores.

Paso 2: Instalar un nuevo sistema de soplado de 7,5 hp por el cliente y ejecutar varias horas para la aceptación del cliente (es decir, cumplió con el requisito de secado).

Paso 3: Monitoree el nivel de uso de energía para un nuevo sistema de ventilación durante dos horas según lo permita el cliente.

El cliente informó a SCE que operaba más de 8.600 horas al año (es decir, 24 horas al día, 7 días a la semana). Su producción fue automatizada y constantemente monitoreada. Cuando se produjo una actividad anormal durante las pruebas, las luces del panel del anunciador cambiaron los colores (o las luces se encendieron) para que los operadores tomaran una acción correctiva. El cliente permitió a SCE monitorear una línea de producción de estireno para

establecer una línea de base. Se realizó una medición de dos semanas para verificar una operación de 24 horas al día, una operación de 7 días por semana y la tasa de consumo constante de energía del ventilador.

El cliente instaló entonces un nuevo sistema de soplado de 7,5 hp sin interrumpir su programa de producción. El cliente colocó las navajas de aire en dos posiciones diferentes durante un período de cinco meses⁹ sin quitar o modificar su sistema de soplador existente de 25 HP. SCE adoptó este enfoque para satisfacer los dos objetivos del cliente:

- ¿Funciona el nuevo sistema?
- ¿Qué es un simple tiempo de recuperación?

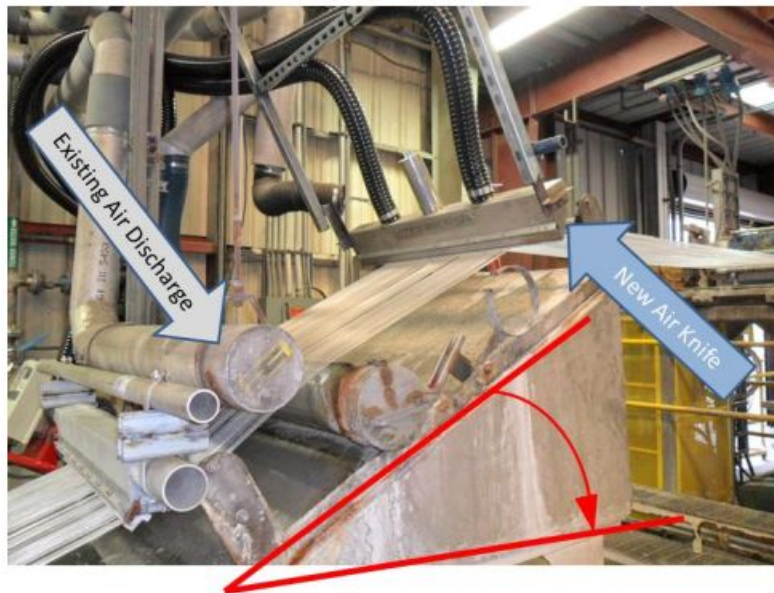
⁹ La máxima prioridad del cliente es la "producción". Por lo tanto, tardó más de cinco meses en probar dos configuraciones diferentes.

Vortron le permitió al cliente tomar prestado un sistema de soplador de 7,5 hp para esta evaluación con la comprensión de que el cliente podría no querer reemplazar el sistema existente, ya que su interrupción programada ocurre cada cinco años. Por lo tanto, el enfoque de esta evaluación de campo fue sobre la viabilidad técnica de la adaptación de un nuevo sistema de ventilación, que cumplió también los objetivos de ETP.

Dado que el cliente no tenía formas científicas de determinar la sequedad de sus productos, SCE se basó en la aceptación del cliente de la sequedad cuando un nuevo sistema se puso en funcionamiento. El cliente necesitó funcionar el nuevo sistema por varias horas para determinar su capacidad de quitar el agua del estireno, y la sequedad del estireno.

Después de que el cliente aceptó el rendimiento del nuevo sistema, SCE monitoreó el nuevo sistema durante aproximadamente dos horas. Las actividades de monitoreo de las SCE fueron limitadas durante dos horas debido a problemas de posición de las cuchillas neumáticas recién diseñadas. Cuando las cadenas de polímero de estireno se enredaron, el operador reposicionó el lecho seco en una posición plana para hacer cuerdas rectas otra vez; Véase la figura 7 que muestra un indicador de ángulo. Cuando esto ocurría, la posición del cuchillo de aire de ingeniería recién instalado, etiquetado como "New Air Knife" en la figura, estaba a unos 3 pies

de distancia de las cuerdas (es decir, no podía secar las cadenas de estireno producidas).



Existing Air Discharge = Descarga de Aire Existente

New Air Knife = Nueva Navaja (cuchilla) de Aire

FIGURA 7. POSICIÓN DE LA CAMA SECA Y POSICIONES DE DESCARGA DE AIRE EXISTENTE Y NUEVA NAVAJA / CUCHILLO DE AIRE.

La única manera de resolver este problema era quitar la tubería existente ("Descarga de aire existente", representada en la Figura 7) e instalar la cuchilla neumática recientemente diseñada en esa posición. Esto requería distribuciones de producción y actividades de construcción importantes que estaban fuera de los objetivos del cliente. Por lo tanto, SCE llevó a cabo una recopilación de datos de dos horas para el nuevo sistema de soplado de 7,5 hp que cumplía con los objetivos de evaluación de campo de determinar la viabilidad técnica de reemplazar el sistema existente por menos de 50 HP con un sistema de soplado más eficiente para ahorrar energía y reducir la demanda potencial. . La recolección de datos de dos horas fue adecuada para medir las diferencias debido a la velocidad de producción constante.

RESULTADOS

La Tabla 3 muestra la comparación de energía de la línea de base (es decir, el sistema de soplador existente de 25 hp) y la solución de eficiencia energética (EE) (es decir, un nuevo sistema de ventilador de 7,5 hp). La recolección de los datos de la línea de base ocurrió del 15 de marzo de 2011 al 30 de marzo de 2011 en el sitio del proyecto. Los datos fueron recogidos para la solución de EE el 30 de noviembre de 2011 durante unas dos horas. La tasa de recolección de datos fue de una muestra por minuto para ambos casos. El ingeniero de planta del cliente también confirmó que los niveles de producción para ambos períodos de recolección de datos eran los mismos.

Como mostró la evaluación de campo, hubo una reducción de aproximadamente 8,1 kW; 62% de reducciones de potencia. Si aplicamos 8,600 horas anuales de funcionamiento, el ahorro energético anual total es de unos 69.700 kWh.

TABLA 3. ESTADÍSTICAS DE LOS DATOS RECOPIADOS COMPARANDO LA LÍNEA DE BASE Y LA SOLUCIÓN DE EE

CASO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
BASE DE LÍNEA	21,659	13.2 kW	0.2 kW
SOLUCIÓN EE	106	5.1 kW	0.05 kW
AHORRO kW	-	8.1 kW	-
AHORRO kWh	-	69,700 kWh	-

La tecnología de sopladores de baja presión es una tecnología madura con vendedores y un canal de distribución de ventas en su lugar. Sin embargo, los sopladores de alta eficiencia energética son relativamente nuevos y necesitan ser identificados aún más. De acuerdo con el reciente estudio¹⁰ de mercado, hay un gran número de aplicaciones de soplado abierto en California, donde se pueden implementar sopladores de energía eficiente para ahorrar energía y

potencialmente reducir la carga de demanda. Por lo tanto, la tecnología de soplado de energía eficiente puede proporcionar oportunidades excepcionales de ahorro de energía en diversos procesos industriales.

¹⁰ SCE (2010), "Air Blower Market Assessment", Informe Número: ET10SCE4010

ANÁLISIS DE ERRORES

En la primera visita al sitio, se anotó el tamaño del soplador y se identificó la ubicación del disyuntor para el ventilador existente. Como resultado, se seleccionaron los siguientes instrumentos para este proyecto:

- Medida de potencia: Dranetz BMI PowerXplorer PX5. Este dispositivo está diseñado para supervisar la calidad de la alimentación. La exactitud de un metro es 0.1% de la lectura verdadera de la raíz media (RMS). Cumple con IEEE 1159, IEC 61000-4-30 Clase A y EN50160, y captura los parámetros IEEE 1459 para sistemas de energía no sinusoidales y avanzados.
- Sensor de medición de potencia: Sondas de corriente Dranflex 3000XL. Su nivel de precisión para un rango de 300 Amperios (A) es $\pm 1\%$ de lectura $\pm 0,1$ A. Su rango de frecuencia es de 10 Hertz (Hz) a 10 kilohertz (kHz) (-1 Decibel). Cumple con EMC EN 61326-2-2: 2006 y EN 61010-1: 2001; EN 61010-031: 2002; Y EN 61010-2-032: 2002 normas de seguridad.

Todos los instrumentos utilizados en este proyecto están hasta la fecha de calibración.

La propagación de errores (aka, "análisis de errores") a los datos recogidos depende de la precisión de los sensores y la relación de las variables. El análisis de errores para un pequeño número de variables independientes se puede hacer como sigue. La lectura del kW depende de dos variables independientes, la tensión (V) y la corriente (I), entonces el error en la medida del kW es:

$$\left(\frac{\Delta kW}{kW}\right) = \sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2}$$

Por lo tanto, el dispositivo más inexacto conducirá la propagación del error en lecturas de kW. En este caso, la sonda de corriente es el dispositivo menos preciso. Su nivel de precisión es del

1%, lo que implica que el error de kW será inferior al 1,1%.

EVALUACIONES

Este proyecto demuestra con éxito que es técnicamente factible reemplazar un sistema de ventilación por debajo de 50 hp con un sistema de soplado más eficiente de energía; Un nuevo sistema del soplador consiste en 1) un soplador eficiente de la energía, 2) cuchillo de aire diseñado, y 3) conductos flexibles. Los resultados de las pruebas demostraron una reducción del 60 por ciento de energía en el sitio del proyecto. La Tabla 4 resume los resultados de la evaluación de campo.

CUADRO 4. RESUMEN DE AHORROS ENERGÉTICOS Y REDUCCIONES POTENCIALES DE LA DEMANDA

	MEDIA
REDUCCIÓN POTENCIAL DE LA DEMANDA	8.1 kW
AHORROS ANUALES DE ENERGÍA	69,700 kWh

La Figura 8 ilustra que el ventilador existente funcionó relativamente constante durante 24 horas al día y 7 días a la semana. Por lo tanto, la SCE podría usar la "Hora de Producción" como la medida para determinar la eficiencia como se describe en la sección "Enfoque Técnico / Metodología de la Prueba".

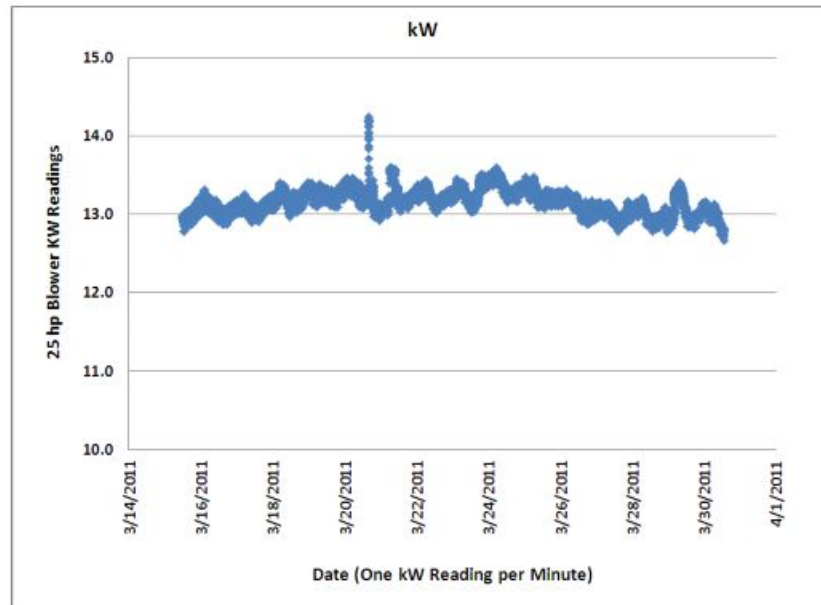


FIGURA 8. DOS SEMANAS DE DATOS BÁSICOS RECOLECTADOS (UNA LECTURA DE KW POR MINUTO)

La Figura 9 muestra las lecturas de kW de la Solución EE (nuevo sistema de soplador de 7,5 hp). Los datos fueron recolectados el 30 de noviembre de 2011 en el sitio del proyecto.

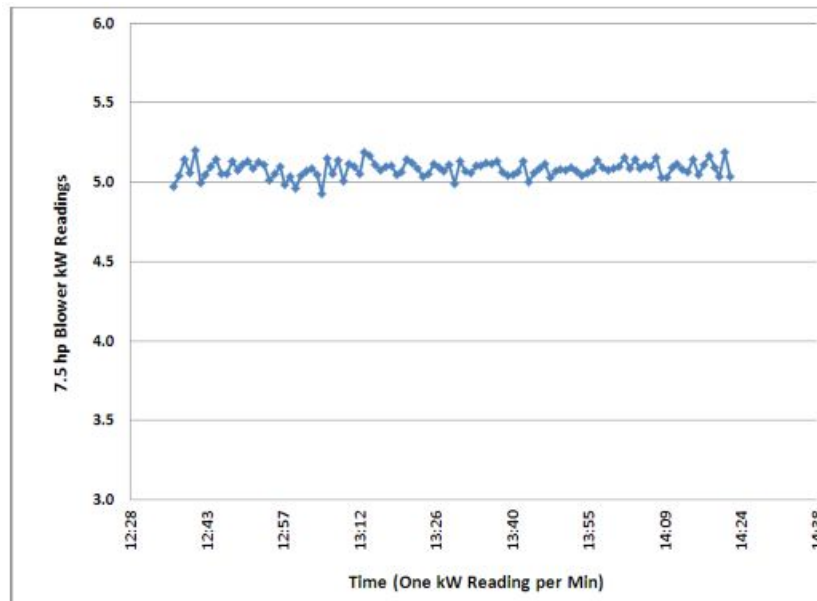


FIGURA 9. DOS SEMANAS DE DATOS LÍNEA DE BASE RECOPIADOS (UNA LECTURA KW POR MINUTO)

Está claro que los resultados de las pruebas anteriores variarán ampliamente dependiendo de las condiciones de operación de cada sitio industrial y de sus requerimientos de proceso. La siguiente pregunta lógica es "¿Cómo podemos lograr ahorros significativos de energía (por ejemplo, reducción del 60%) en otras instalaciones industriales?" Requiere:

- Medición de la presión y del caudal de aire del sistema existente
- Comprensión del proceso de producción
- Diseño de un nuevo sistema de soplador

MEDIR LA PRESIÓN Y LA VELOCIDAD DE FLUJO DE AIRE DEL SISTEMA EXISTENTE

En el sitio del proyecto, se determinó que la presión de descarga del soplador existente de 25 hp era de aproximadamente 0,2 psig y la velocidad de flujo de aire era de aproximadamente 1000 cfm. Tanto la presión como la tasa de flujo de aire permanecieron relativamente constantes. El sistema de ventilación existente tenía un amortiguador, pero se abrió y no se utilizó. Los ensayos indicaron una caída de presión significativa a lo largo de 30 pies de tubería, ya que los ensayos midieron sólo 0,2 psig en la descarga; Sin embargo, las pruebas no fueron capaces de medir la presión en el soplador, ya que requería perforar un agujero cerca del soplador.

ENTENDER EL PROCESO DE PRODUCCIÓN

El cliente utilizó el soplador de 25 hp para procesos de "soplado abierto". El aire descargado se usó simplemente para eliminar agua¹¹ de cadenas de estireno que se movían a una velocidad constante.

El cliente no tenía un sensor automático o método de ingeniería para determinar su sequedad. El ingeniero de la planta y los operadores simplemente determinaron la sequedad del estireno por inspección visual o por tocarlos. El cliente tampoco tenía requerimientos específicos de mantener la presión o caudal del ventilador existente. Por lo tanto, SCE podría diseñar un nuevo sistema con diferente presión o caudal, siempre y cuando pudiera secar las cadenas de estireno de manera eficiente.

¹¹ El agua enfría las cadenas de estireno producidas antes de que otra máquina las pique para hacer bolitas de estireno.

DISEÑE UN NUEVO SISTEMA DE SOPLADOR

El cliente utilizó el soplador de 25 HP para procesos de "soplado abierto"; La energía cinética (K.E.) de aire descargado hace el trabajo. En este caso, la energía del aire descargado es proporcional a:

$$\frac{K.E.}{Time} = Kinetic Power = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

Donde "m" es el caudal de aire-masa y "v" es la velocidad del aire. Es importante señalar que el K.E. Es proporcional al cuadrado de la velocidad. Según la amplia experiencia de campo de Vortron, el mejor desempeño de soplado abierto ocurrió cuando la velocidad del aire para la remoción de agua fue de 26,000 - 36,000 pies por minuto y de 5 a 9 cfm por pulgada para la cuchilla de aire. Por lo tanto, el nuevo sistema de soplado fue diseñado para entregar 540 cfm de aire a 2,2 psig. El nuevo diseño tenía una potencia cinética significativamente mayor que el soplador existente; Véase la Tabla 5.

TABLA 5. COMPARACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA: VENTILADOR EXISTENTE VS. NUEVO VENTILADOR

CASO	DISEÑO	AIRE-MASA-R ANGO DE FLUJO (KG/SEC) ¹²	VELOCIDAD DEL AIRE (M/SEC) ¹³	PODER KINETICO (kW)
BLOWER EXISTENTE (LÍNEA DE BASE)	1,000 cfm 2.2 ¹⁴ psig a la descarga Temperatura del aire de entrada: 80°F Área de descarga de aire: 1,75 pulgadas x 28 pulgadas x 2 (es decir, dos tubos)	0.614	7.46	0.02
BLOWER NUEVO (SOLUCION EE)	540 cfm 2.2 psig a la descarga Temperatura del aire de entrada: 80°F Área de descarga de aire: 0.035 pulgadas x 36 pulgadas x 2 (es decir, dos cuchillas de aire)	0.332	157 ¹⁵	4.1

¹² Representa kilogramo por segundo

¹³ Representa el metro por segundo

¹⁴ La presión de descarga real fue 0,2 psig. 2,2 psig se utilizó para un propósito de comparación equitativa.

¹⁵ Esto cumple con las mejores prácticas de Vortron de velocidad de descarga de aire para eliminar el agua.

Hay otra razón importante para seleccionar 540 cfm y 2,2 psig (es decir, relación de presión de 1,15). En este punto de operación, la eficiencia del soplador alcanzó el 79% como se muestra en la Figura 10. El nivel de eficiencia del 79% no es común en el mercado para sopladores de caballos de fuerza más bajos (es decir, 50 hp y menos); En muchos casos cae por debajo del 60%. Sobre la base de la búsqueda en la web limitada, por ejemplo, otras compañías

recomiendan un soplador de 10 HP para 540 cfm y 2,2 psig de presión, lo que indica que el nivel de eficiencia de sus sopladores es de alrededor del 60%. Por otra parte, estas empresas no tienen una curva de eficiencia, que se muestra en la Figura 10 que podría comparar sus productos.

Las navajas de aire y el conducto flexible (3 pulgadas de diámetro) se seleccionan para entregar la velocidad del aire diseñada. Por ejemplo, las navajas de aire se ajustó para tener 0,035 pulgadas de espacio libre para aumentar la velocidad del aire.

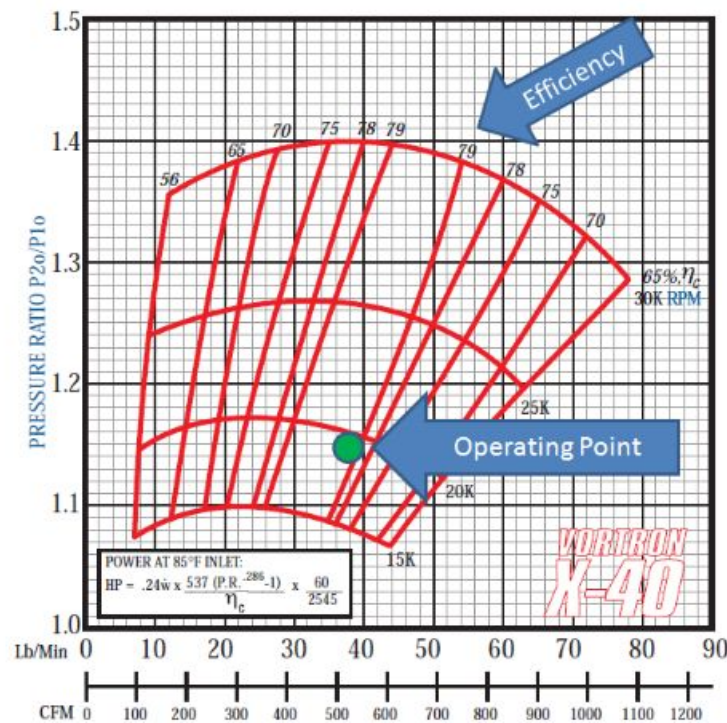


FIGURA 10. EFICIENCIA DEL VENTILADOR VS. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL VENTILADOR

Es importante notar que la eficiencia del nuevo soplador puede cambiar de 56% a 79% dependiendo de la relación de presión y la tasa de flujo de aire (es decir, el punto de funcionamiento del soplador). Por lo tanto, es crítico conocer los requisitos de producción y de proceso antes del diseño de un nuevo sistema de soplador para seleccionar el punto o los

rangos operativos óptimos.

La pregunta sigue siendo la siguiente: "¿Cómo podríamos lograr un ahorro de energía significativo (por ejemplo, una reducción del 60%) en otras instalaciones industriales?" Basándose en la evaluación de campo, prevalecen las siguientes conclusiones. La Tabla 6 recoge las mejoras medidas.

- A través de mejoras en el diseño
- A través de la mejora de la eficiencia del soplador - adelanto de la tecnología

Selección de la presión ideal y la velocidad del aire (es decir, las mejores prácticas para eliminar el agua es de 26.000 - 36.000 pies por minuto de aire), conducto flexible, las navajas de aire los cuales el tamaño de la tapa podría ser controlado elementos de mejora del diseño. La selección de un soplador eficiente de la energía era la mejora de la eficacia del soplador.

TABLA 6. ATRIBUTOS DEL DISEÑO Y MEJORAS TECNOLÓGICAS

ATRIBUTOS ESTIMADOS DE AHORROS ENERGÉTICOS	
Mejoras en el Diseño	40%
Avance Tecnológico	20%

Los resultados de las pruebas demuestran que esta tecnología puede lograr importantes ahorros de energía en otras instalaciones industriales de dos maneras principales: a través de mejoras en el diseño y mediante la adaptación con un soplador eficiente de energía.

Las siguientes variables no podrían desempeñar un papel significativo en el ahorro de energía "60%"

- Dimensionar correctamente el motor del blower existente
- Actualización a un motor más eficiente para el ventilador

El motor del ventilador existente funcionaba constantemente a aproximadamente 64% (es decir,

13,2 kW) de su carga completa. Según el manual de selección de motores del Departamento de Energía de los Estados Unidos, dice:

"La eficiencia máxima no suele ocurrir a plena carga. Mientras el motor esté operando por encima del 60 por ciento de la carga nominal, la eficiencia no varía significativamente ... Es casi siempre una buena idea reducir el tamaño de un motor que está cargado menos del 50 por ciento".

El dimensionar correctamente el motor no mejoraría significativamente la eficiencia de la carga parcial porque el motor mantuvo (o cerca de) su rendimiento de plena carga por encima del 60% del nivel de carga.

El blower existente tiene un motor de eficiencia estándar, mientras que el nuevo soplador tiene un motor premium de la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA) como lo exige la reciente Ley de Independencia y Seguridad Energética de 2007. La eficiencia estándar de 25 hp, totalmente cerrada, es más eficiente que la 7,5 hp motor de la eficiencia NEMA prima. Por lo tanto, la diferencia de eficiencia no desempeñó un papel significativo en el logro de 60% de ahorro de energía. Incluso si se modernizara el ventilador existente con un nuevo motor NEMA premium de 25 hp, la diferencia teórica habría sido de 0,7%. Consulte la Tabla 7 en relación con las diferencias de eficiencia del motor NEMA.

TABLA 7. EFICIENCIA - MOTOR ESTÁNDAR VS. MOTOR NEMA PREMIUM

TAMAÑO DEL MOTOR	EFICIENCIA ESTÁNDAR	EFICIENCIA NEMA PREMIUM	DIFERENCIA DE EFICIENCIA
25 hp, motor cerrado	91.00%	91.70%	0.70%
7.5 hp, motor cerrado	88.50%	89.50%	1.00%

¹⁶ Departamento de Energía de los EE. UU., "Energy-Efficient Electric Motor Selection Handbook", Revision 3, 1993, p. 28

UNA MANERA DE IDENTIFICAR SOPLADORES INSUFICIENTES - TEMPERATURA

La diferencia de temperatura entre la entrada (T1) y la descarga (T2) fue un indicador de eficiencia energética. Utilizando Error! Fuente de referencia no encontrada., La eficiencia es inversamente proporcional a la diferencia de temperatura entre la entrada y el aire descargado. De acuerdo con nuestras mediciones puntuales, la diferencia de temperatura para el ventilador existente era de aproximadamente 9 ° F, suponiendo que no había caída de temperatura a lo largo de la tubería de 6 pulgadas, mientras que 3,5 ° F para el nuevo soplador. Consulte la Tabla 8 para obtener detalles sobre las diferencias de temperatura entre el aire de entrada y el aire de descarga. Esto implica que el nuevo ventilador es al menos un 5,5% más eficiente en comparación con el soplador existente de 25 HP.

TABLA 8. DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE LA ENTRADA (T1) Y EL AIRE DE DESCARGA (T2)

SOPLADOR	TEMPERATURA DE ENTRADA	TEMPERATURA DE SALIDA	DIFERENCIA
Soplador Existente 25 hp	80° F	80° F	9° F
Nuevo Soplador 7.5 HP	80° F	83 - 84° F	3.5° F

MEJORES PRÁCTICAS PARA LA ELIMINACIÓN DE AGUA POR EL PROCESO ABIERTO DE SOPLADO

Este proyecto demuestra con éxito que la energía cinética del aire es un factor crítico (no sólo el volumen de aire) para diseñar el sistema de soplado. Según la extensa experiencia de campo de Vortron, el mejor desempeño de soplado abierto ocurre cuando la velocidad del aire para el

proceso de remoción de agua es de aproximadamente 26,000 a 36,000 pies por minuto. La implementación de esta experiencia de campo en el sitio del proyecto fue exitosa. Sin embargo, existe la necesidad de validar esta gama más a través de una evaluación ET. Una vez validado, comprobando la velocidad de descarga del aire en las instalaciones del cliente, se pueden buscar más oportunidades de ahorro de energía para la remoción de agua en el proceso de soplado abierto.

RECOMENDACIONES

Este proyecto demuestra con éxito que es técnicamente viable implementar un diseño alternativo para procesos industriales de soplado abierto y lograr ahorros de energía y reducciones potenciales de la demanda. Se logró un ahorro significativo de energía en el sitio del proyecto, con un 60% de reducción en el consumo de energía. Un ahorro de energía acumulativo fue posible combinando un soplador eficiente de energía con la cuchilla de aire de ingeniería que proporciona flujo de aire laminar continuo y un conducto flexible que reduce la presión creando un radio de curvatura suave en comparación con los conductos rígidos. La mejora del diseño creó un ahorro de energía significativo (estimado en un 40 por ciento o más) por la velocidad de descarga de aire ideal para la aplicación de soplado abierto para eliminar el agua.

Sobre la base del éxito de este proyecto, se justifican las siguientes recomendaciones:

- SCE para llevar a cabo evaluaciones adicionales para estimar los ahorros de energía asociados con cada componente del nuevo sistema de soplado. Esto consiste en; 1) un nuevo motor de soplador eficiente, 2) dos conjuntos de navajas (cuchillas) de aire, y 3) un conducto flexible.
- SCE para llevar a cabo un estudio adicional para validar las presiones ideales y los niveles de caudal para diversas aplicaciones de soplado abierto, para proporcionar un enfoque de medida potencialmente considerado para este tipo de medidas.
- SCE debería trabajar con este cliente para explorar oportunidades adicionales de reducción de energía y demanda para otras aplicaciones de soplado abiertas que existen en este sitio. Nota; El cliente tiene cuatro líneas de producción adicionales de soplado abierto.
- Los programas de eficiencia energética de SCE deberían explorar formas de eliminar las barreras de mercado asociadas con los costos de eliminación y eliminación de equipos existentes. Una posible solución es retirar alguna parte aceptable del sistema existente, por ejemplo, retirar los soplantes sin retirar todos los conductos rígidos. Esta opción aceleraría el período de amortización reduciendo los costos asociados con la remoción del equipo existente.