

DEL AIRE COMPRIMIDO AL AIRE DE SOPLADOR

REPORTE: ET10SCE1160 REPORT



Preparado Por: (Marzo, 2011.)

*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.)

Proveedora 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 Servicios de Diseño e Ingeniería de Southern California Edison es responsable de este proyecto. Fue desarrollado como parte del programa de Tecnologías Emergentes (Emerging Technology) de Southern California Edison bajo el número de proyecto interno ET 10SCE1160. El 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. Este proyecto fue llevado a cabo en Cypress, LTD. Para más información sobre este proyecto, comuníquese con Charles Kim: 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, 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.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CAC	Desafío del Aire Comprimido
cfm	pies cúbicos por minuto
CI	Intervalo de Confianza
dB(A)	Decibel: medición del nivel de sonido con un factor ponderado "A"
DEER	Base de datos de recursos energéticos eficientes
DES	Diseño y Servicios de Ingeniería
hp	Caballos de Fuerza
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt por hora
psig	Medidor de libra de fuerza por pulgada cuadrada: presión

Figuras:

Figura 1. Un sistema de Soplador Instalado en el Sitio de Prueba	9
Figura 2. Aire Comprimido vs. Aire del Soplador	14
Figura 3. Sistema de Aire Comprimido Bandlock Simplificado y Líneas de Producción y Ubicación de Varios Contadores	17
Figura 4. Resultados de la Prueba del 8 de Diciembre de la Conversión del Uso Inadecuado del Aire Comprimido al Sistema de Aire de Soplador	19
Figura 5. Cambios en el Tiempo de Ciclo de Compresor Debido al Soplador	21
Figura 6. Resultados de la Prueba del 31 de Diciembre de la Conversión del Uso Inadecuado del Aire Comprimido al Sistema de Aire de Soplador	22
Figura 7. Horas de Operación Indicadas por Registros de kW del Compresor del 9 de Diciembre al 23 de Diciembre de 2010	24
Figura 8. Horas de Operación Indicadas por Registros de kW del Compresor del 30 de Diciembre al 13 de Enero de 2011	25
Figura 9. Potencia del Compresor 1 con y sin el Soplador Operando	30
Figura 10. Potencia del Compresor 3 con y sin el Soplador Operando	31
Figura 11. Nivel de Presión de Sistema de Compresor Existente	33

Tablas:

Tabla 1. Resumen de Ahorros en Energía y Reducciones en Demanda de Potencia	6
Tabla 2. Estadísticas de Datos Registrados en la Prueba el 8 de Diciembre	20
Tabla 3. Estadística Simple de Datos Registrados en la Prueba el 31 de Diciembre	23
Tabla 4. Resumen de Ahorros en Energía y Reducciones en Demanda de Potencia	27
Tabla 5. Listado de Nombre de Archivos de Datos	34

CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	5
INTRODUCCIÓN	8
ANTECEDENTES	10
Tecnología Emergente / Producto	11
OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN	12
TECNOLOGÍA / PRODUCTO EVALUADO	13
ENFOQUE TÉCNICO / METODOLOGÍA DE PRUEBAS	15
RESULTADOS	18
Análisis de Errores	26
EVALUACIONES	27
RECOMENDACIONES	28
APÉNDICE A - PRUEBAS DE RENDIMIENTO DE COMPRESORES EXISTENTES	30
APÉNDICE B - PRUEBAS DE VARIOS COMPRESORES	32
APÉNDICE C - ARCHIVOS DE DATOS	34

RESUMEN EJECUTIVO

Los sistemas de aire comprimido, utilizados para aumentar la presión del aire reduciendo su volumen, son útiles y valiosos entre diversos mercados comerciales, agrícolas e industriales. Sin embargo, pueden ser una solución costosa ya menudo ineficiente cuando se aplican inadecuadamente y cuando no se mantienen para un rendimiento óptimo. En un esfuerzo por promover la aplicación apropiada y el rendimiento óptimo de estos sistemas en todos los mercados, el Compressed Air Challenge (CAC), una entidad colaborativa voluntaria, se organizó por primera vez en 1997 para fomentar las mejores prácticas para los usos del sistema de aire comprimido. A pesar de los esfuerzos de la CAC durante más de una década, muchos clientes industriales todavía están luchando con los usos apropiados y óptimos de los sistemas de aire comprimido, que pueden ser muy costosos. Desafortunadamente, debido a su versatilidad, los sistemas de aire comprimido se usan muy a menudo para procesos de producción de tipo de soplado abierto tales como enfriamiento, secado, eliminación de desechos y limpieza. Estos usos comunes pueden realizarse de manera más eficaz y económica mediante el uso de sopladores de aire reales, que en muchos casos proporcionan una reducción significativa de la demanda de energía y potencial ¹, utilizando sólo entre un cuarto y una décima parte de la energía de los sistemas de aire comprimido. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es evaluar el potencial de reducción de energía y demanda asociado con la conversión de sistemas de aire comprimido a sistemas de aire de soplado para soplador abierto en uso industrial.

Se llevó a cabo una evaluación de campo en una planta de fabricación de termoplásticos, llamada Productos Bandlock, ubicada en la ciudad de Ontario, California. Este sitio fue seleccionado porque utiliza aire comprimido exclusivamente para aplicaciones de soplado abierto como refrigeración y eliminación de refrigeración por agua) de sus productos. Al igual que muchas aplicaciones de soplado abierto, su proceso de producción no requiere una cantidad de aire de alta presión. La prueba realizada el 8 de diciembre y el 31 de diciembre de 2010 demostró que el 80% al 90% del ahorro de energía se puede lograr convirtiendo el uso

inapropiado de aire comprimido en aire soplador para procesos de soplado abierto. Los resultados de la evaluación de campo se resumen en la Tabla 1.

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

	MEDIA	95% INTERVALO DE CONFIANZA - BAJO	95% INTERVALO DE CONFIANZA - ALTO
REDUCCIÓN DE DEMANDA POTENCIAL ²	12.5 kW	9.5 kW	15.5 kW
AHORROS ANUALES DE ENERGÍA ³	75,000 kWh	57,000 kWh	93,000 kWh

Los resultados de esta evaluación de campo apoyan la idea de que los sistemas de ventilación de aire pueden proporcionar una energía significativa y reducciones de la demanda potencial para los procesos industriales de soplado abierto. Con base en los resultados de este proyecto, se las siguientes son las recomendaciones:

¹ El término "reducción de demanda potencial" se utiliza para diferenciarlo de la definición de "demanda promedio de demanda" de la base de datos de recursos energéticos eficientes de California (DEER), aunque esta medida puede reducir la demanda máxima en cualquier zona climática durante el tiempo definido por el DEER.

² Basado en los resultados de las pruebas del 31 de Diciembre de 2010.

³ Basado en las 6000 horas de operación anual.

- El cliente debe explorar el potencial de reducción de energía y demanda para otras aplicaciones de soplado abierto que existen en este sitio.

Para este sitio, aproximadamente el 80% de la energía del compresor se utilizó exclusivamente para aplicaciones de soplado abierto.

La conversión completa del aire comprimido al aire del ventilador permitiría al personal de la planta apagar completamente un compresor de 50 hp.

El ahorro de energía estimado para la plena implementación se basó en la suposición de un 80% de compensación en el uso de energía del compresor que daría una reducción de la demanda potencial de 42 kW (demanda máxima de un compresor de 50 hp) y 252,000 kWh de reducción anual de energía.

- "Crear demanda" identificando el uso inapropiado del aire del compresor en varios segmentos industriales y reemplazándolo con productos de eficiencia energética (EE) (por ejemplo, sopladores EE); Por lo tanto, la creación de más demanda de EE productos como sopladores EE para muchas aplicaciones de soplado abierto.
- "Crear Saber Cómo" ("Know How") mediante la realización de diversas evaluaciones de campo o proyectos de demostración para procesos industriales comunes como un proceso de burbujeo ⁴. Además, existen varias herramientas (como los medidores de flujo de aire) para medir el "lado de la alimentación" del sistema de aire comprimido, mientras que las herramientas para medir el "lado de la demanda" carecen. Por lo tanto, el desarrollo de "tamaño de la demanda" herramientas y materiales educativos son necesarios para dimensionar correctamente el soplador, por ejemplo, con boquillas apropiadas o cuchillos de aire.
- "Crear oferta" mediante la identificación de productos EE (por ejemplo, sopladores EE) desarrollando primero un estándar de energía y luego estableciendo estándares de rendimiento de eficiencia energética (por ejemplo, nivel 1 o nivel 2 de ECO) con niveles de incentivo adecuados. Este esfuerzo puede atraer a las manufacturas para fabricar más productos EE. Actualmente, no hay estándares de eficiencia energética reconocidos por la industria para sopladores o sistemas de etiquetas como NEMA Premium™ o Energy Star™. Por lo tanto, crea una barrera adicional cuando un cliente necesita elegir un producto EE como un soplador.

Evaluaciones futuras deben medir el caudal de aire comprimido en el punto de uso final, para aumentar aún más la precisión de este estudio.

⁴ La dispersión es airear, agitar, oxigenar o percolar líquido con aire comprimido.

INTRODUCCIÓN

El sistema de aire comprimido es muy común entre los clientes industriales debido principalmente a su uso versátil en diversos procesos industriales. Utiliza, sin embargo, considerablemente más energía y es muy ineficiente cuando se aplica a algunos procesos industriales de manera inapropiada. Por lo tanto, el "Desafío del Aire Comprimido" Compressed Air Challenge (CAC) reclama usos potencialmente inapropiados del aire comprimido en su libro titulado "Mejores Prácticas para Sistemas de Aire Comprimido" para educar a los usuarios finales y los diseñadores de sistemas de compresores. El proceso de soplado abierto, utilizado para enfriar o eliminar los desechos de los productos es una forma en que el sistema de aire comprimido se utiliza de manera inapropiada. El CAC también recomienda debidamente las alternativas posibles para aquellos usos inadecuados del aire comprimido. Los sopladores de baja presión, como sugiere el CAC, pueden ser una solución ahorradora de energía para muchas aplicaciones industriales de soplado abierto.

El alcance de este proyecto es identificar el uso inapropiado del aire comprimido y luego reemplazar / modificar los sistemas existentes con sopladores de baja presión en el punto de uso del aire. El principal beneficio de reemplazar o reducir la cantidad de aire comprimido utilizado con el soplador de aire es el ahorro de energía significativo. Los sopladores usan típicamente 1/4 a 1/10 de la energía de los compresores. Por lo tanto, el objetivo primario de este proyecto es cuantificar los ahorros de energía de la conversión del uso inadecuado del aire comprimido al uso del aire del ventilador para los procesos industriales de soplado abierto.

La compañía de productos Bandlock, ubicada en la ciudad de Ontario, California, fue seleccionada para la evaluación de campo debido a que su uso de compresor se utiliza principalmente para procesos de "soplado abierto". El Bandlock utiliza el aire comprimido para enfriar y eliminar las aguas, que se utilizan para la refrigeración, de caucho extruido o productos de plástico. El sistema de aire comprimido del cliente consta de tres compresores de tornillo sin aceite de 50 caballos de fuerza (hp). También hay un compresor de 200 caballos de fuerza como respaldo para acomodar órdenes crecientes. Si se utiliza el compresor de 200 hp, los tres compresores de 50 hp están apagados. La operación de extrusión típica requiere dos compresores de 50 HP funcionando 24 horas al día, cinco días a la semana. Los compresores se utilizan principalmente para enfriar y secar los productos finales.

Un soplador de 3 hp fue recomendado inicialmente a Bandlock para convertir el uso de aire comprimido para dos líneas de producción; Sin embargo, este proyecto implicó la instalación de

un soplador de 7.5 hp con un variador de velocidad (VSD) para acomodar la consideración del cliente de futuras capacidades de expansión y cierto escepticismo (es decir, el soplador no funcionaría). El soplador se conecta a los inyectores de aire de baja presión a través de tubos flexibles de 3 pulgadas como se muestra en la Figura 1 a continuación.

⁵ El Desafío del Aire Comprimido (Compressed Air Challenge) es una organización voluntaria de colaboración con su misión de educar sobre los beneficios del mejor desempeño del sistema de aire comprimido.

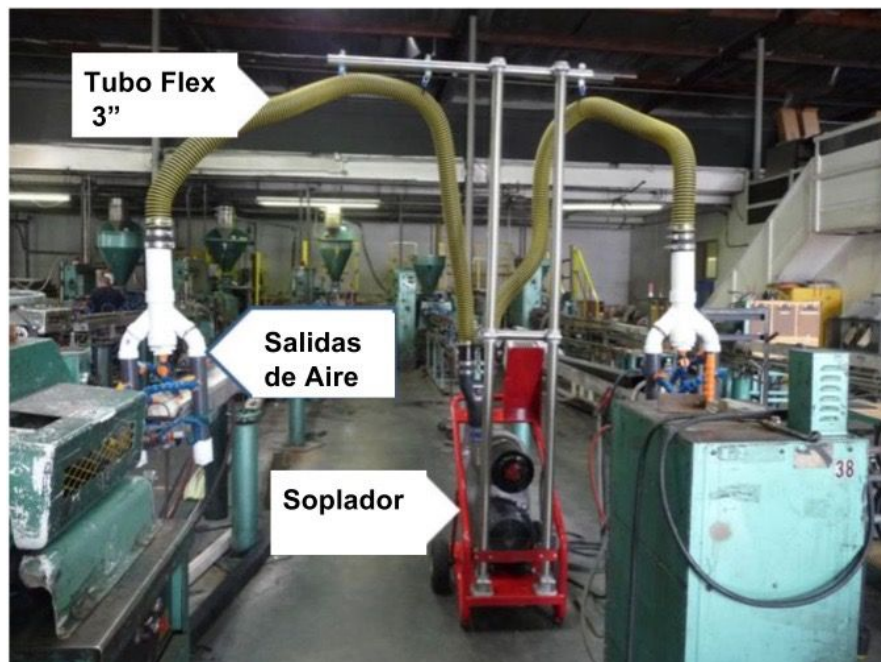


FIGURA 1. SISTEMA DE SOPLADOR INSTALADO EN EL SITIO DE PRUEBAS

ANTECEDENTES

Los sopladores industriales han estado en uso durante muchas décadas y proporcionan aire de baja presión (es decir, menos de 15 libras de fuerza por pulgada cuadrada (psig)) para muchas aplicaciones comerciales e industriales. Sopladores vienen en muchos diseños y hay un mercado desarrollado para la fabricación, distribución y venta de sopladores. El rendimiento energético de los sopladores, sin embargo, varía ampliamente. Algunos sopladores pueden entregar dos veces más aire para una potencia dada. Actualmente, no hay una norma de eficiencia energética (EE) o una norma aceptada por la industria para medir el rendimiento de los sopladores. A diferencia del mercado de compresores, no hay suficiente formación y materiales educativos disponibles para diseñadores o ingenieros para convertir el uso inadecuado de aire comprimido al aire del ventilador.

El aire comprimido también se ha utilizado durante muchas décadas como caballo de batalla en las plantas industriales. Sin embargo, el aire comprimido es una fuente de energía muy ineficiente. El rendimiento operativo total de un sistema de aire comprimido es inferior al 35%. "En algunos de los peores casos, el 10% o menos del aire comprimido producido se pone realmente en funcionamiento."⁶ Además, los usos inapropiados representan el 20% del aire comprimido producido ⁷. El "soplado abierto" es uno de los usos inapropiados más comunes de los sistemas de aire comprimido entre las plantas industriales. El aire comprimido se utiliza a menudo para aplicaciones de soplado abierto debido a:

- Falta de educación respecto a las alternativas.
- La percepción de que una presión más alta significa más potencia y, por lo tanto, produce mejores resultados.
- El aire comprimido está fácilmente disponible (no se requiere equipo nuevo).
- Percepción de que el aire comprimido es barato o gratuito

Actualmente, existen muchas clases y materiales de educación / capacitación disponibles para sistemas de aire comprimido que alientan, fomentan y mejoran el uso eficiente del aire comprimido. Los instructores calificados en las mejores prácticas están disponibles en todo el país; Sin embargo, su enfoque principal está en la generación del aire comprimido, no en el uso final. Este proyecto; Por lo tanto, se centran en el uso final.

⁶ p. 5, David Wylie (2008), "Compressed Air System Efficiency".

⁷ ibid.

TECNOLOGÍA EMERGENTE / PRODUCTO

Los sopladores eléctricos de baja presión están diseñados con un motor eléctrico que está unido a un impulsor para proporcionar la fuerza motriz para traer el aire de la presión ambiental a una presión final entre 2 psig y 15 psig. Hay muchos diseños diferentes de sopladores disponibles en el mercado y sus eficiencias operativas varían mucho de un fabricante a otro.

Dado que el aire es compresible, se necesita más energía para comprimirlo a una presión más alta. Al comprimir solamente el aire a menos de 10 psig (es decir, soplador), se necesita una energía significativamente menor que si el aire se comprime a 100 psig (es decir, compresor). Por lo tanto, si un proceso industrial puede utilizar una baja presión y un mayor volumen de aire que una presión más alta y un bajo volumen de aire, se puede lograr el mismo proceso industrial utilizando una cantidad de energía significativamente menor.

Actualmente, la barrera del mercado primario para los sopladores es la percepción de que el aire de baja presión no puede realizar funciones de trabajo específicas en comparación con el aire de alta presión. Otras barreras de mercado que pueden ser específicas del proyecto o del sitio incluyen: disponibilidad de espacio para instalar ventiladores, disponibilidad de capital, capacidad para realizar un análisis de inversión de ahorro de energía adecuado, falta de requisitos de ingeniería específicos del proceso, insuficiente comprensión técnica de la aplicación Para diseñar una solución, y la falta de requisitos de mantenimiento para sopladores de aire. Otro factor es la insuficiente atención al potencial de ahorro real que podría movilizar el canal de mercado para buscar nuevas instalaciones.

OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN

Esta evaluación tecnológica busca determinar el ahorro de energía y la reducción potencial de la demanda de convertir el uso inapropiado de aire comprimido al aire del soplador. La tecnología establecida para este sitio es un compresor de tornillo sin lubricante que funciona a 100 psig; Una operación de tipo muy común a nivel de presión muy común entre plantas industriales. La tecnología propuesta es un soplador de baja presión que funciona entre 1 y 5 psig y el volumen de aire que puede ser controlado por un controlador de velocidad variable. Para determinar la diferencia en el consumo de energía, tanto el soplador como los compresores fueron monitorizados mientras cumplían los requisitos de producción (por ejemplo, producir un producto a la velocidad de 300 pies por minuto que debía secarse por los compresores o por el soplador).

Los términos de "reducción potencial de demanda" se usan a continuación para diferenciarlo de la definición de "demanda de pico promedio" de la Base de Datos para Recursos Energéticos Eficientes de California (DEER). DEER la define como:

"... el impacto medio del nivel de la cuadrícula (**grid level**) 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 sitio seleccionado para esta evaluación de campo es la empresa de productos Bandlock, ubicada en Ontario, CA. Esta instalación fue elegida porque prácticamente todo el aire comprimido usado en este sitio (estimado en 80% o más) es para aplicaciones de soplado abierto. Esto puede eliminar los esfuerzos necesarios para controlar otras variables tales como los usos intermitentes del aire comprimido por los dispositivos neumáticos.

Esta planta ofrece una excelente oportunidad para probar sopladores de baja presión; Sin embargo, viene con algunos desafíos. El principal desafío son los frecuentes cambios en el uso de aire comprimido por línea de producción debido a los ciclos de producción cortos (es decir, órdenes de bajo volumen). Típicamente, la cantidad de aire comprimido y la configuración de los requisitos de soplado en el sitio cambian de hora en hora. A pesar de una corta producción por producto, la planta tiene tiempos de funcionamiento continuo de 24 horas al día, 5 días a la semana.

El informe evalúa el uso de una tecnología de soplado de baja presión en lugar del aire comprimido de alta presión para aplicaciones de soplado abierto. Se instaló un soplador para suministrar aire de baja presión a dos líneas de producción donde típicamente cuatro a cinco líneas de producción estaban funcionando diariamente. El consumo de energía para las tecnologías del compresor y del soplador se midió directamente mientras se realizaban los mismos procesos de soplado abierto utilizando dos líneas de producción para determinar el uso total de energía y el ahorro de energía usando ambas tecnologías.

Para el propósito de un estudio de comparación, se instaló un sistema paralelo que cambiaba de un sistema al otro mientras realizaba el monitoreo de energía.

La Figura 2 muestra las configuraciones del sistema de aire comprimido y aire de soplador para la misma aplicación de soplado abierto (es decir, retirando el agua del producto a medida que pasa a través de las boquillas).



FIGURA 2. AIRE COMPRIMIDO VS. AIRE DEL SOPLADOR

ENFOQUE TÉCNICO / METODOLOGÍA DE PRUEBA.

Para evaluar el ahorro de energía y la reducción potencial de la demanda, se tomaron los siguientes cuatro pasos:

Paso 1: Establezca la línea de base para una comparación "justa" capturando el uso de energía de los compresores existentes y sus prestaciones frente al rendimiento típico del compresor.

Paso 2: Supervise los niveles de potencia de dos compresores mientras dos líneas de producción están funcionando y usando aire comprimido para el soplado abierto (línea de base). Registre y controle el rango del flujo de aire.

Paso 3: Monitoree los niveles de potencia de dos compresores y un soplador mientras dos líneas de producción están funcionando con el uso del aire del soplador para la solución de eficiencia energética (EE). En este paso, el aire comprimido se cierra cerrando las válvulas para Repita los pasos 2 y 3 cada 15 - 20 minutos durante 1 - 2 horas (prueba de un día).

Paso 4: Ejecute cuatro semanas de mediciones (dos semanas con aire comprimido y dos semanas con aire soplador) para esas dos líneas de producción. Este paso está diseñado sólo para verificar las horas de funcionamiento a medida que los niveles de producción cambian cada hora (prueba de cuatro semanas).

Con el fin de proporcionar una evaluación completa del uso de energía del compresor y el rendimiento del sistema completo para una comparación "justa", es importante entender primero cómo los compresores existentes operan bajo cargas y determinar la salida de aire comprimido para una entrada de energía dada. En muchos casos, los compresores no cumplen con las especificaciones nominales de los fabricantes, especialmente cuando han estado en servicio durante un largo período de tiempo (por ejemplo, durante más de cinco años). Las razones para el rendimiento ineficiente incluyen: desgaste de las piezas, filtros sucios, mantenimiento mal realizado, calibraciones del sensor sin sincronización y piezas de repuesto que no cumplen con las especificaciones del fabricante del equipo original (OEM). Estos problemas afectan el rendimiento del compresor y la mejor manera de determinar la salida real de un compresor es probarlo.

Establecer una línea de base para el uso de aire de soplador abierto para la planta es también un factor crítico para una comparación "justa". La línea de base del sistema debe incluir cualquier tipo de fugas, usos de la secadora y usos finales del tipo de purga. La línea de base puede determinarse midiendo los caudales de aire comprimido a varios niveles de presión de funcionamiento que vigilan kilovatios (kW) para cada compresor, tal como se describe en el Apéndice A - Pruebas de rendimiento de los compresores existentes.

A continuación, se miden los ahorros de energía y de demanda potencial (kilovatio / hora (kWh) y kW) para el compresor de aire estableciendo primero la energía del compresor mientras suministra aire a la aplicación de soplado abierto para dos líneas de producción mientras controla las otras tres líneas de producción (Es decir, manteniendo los mismos niveles de producción). A continuación, apague el aire comprimido para dos líneas de producción y ejecute el soplador para determinar el uso de energía. Este debe ser el único cambio en el sistema de aire comprimido para dos líneas de producción. La diferencia en el uso de energía (es decir, dos compresores necesitan generar menos cantidad de aire comprimido para la planta mientras que el ventilador suministra aire a esas dos líneas de producción), por lo tanto, pueden atribuirse directamente a la aplicación de soplado abierto.

Es importante saber que para proyectar ahorros, el uso de energía del soplador de aire debe ser restado del ahorro de energía.

Las variables registradas incluyeron presión, potencia y caudales de aire. La presión se registró en un calibrador unido al medidor de flujo. La potencia se registró mediante un medidor eléctrico calibrado conectado al compresor y la temperatura se registró utilizando un medidor de temperatura calibrado instalado en el medidor de flujo. En la Figura 3 se muestran varios lugares de medición.

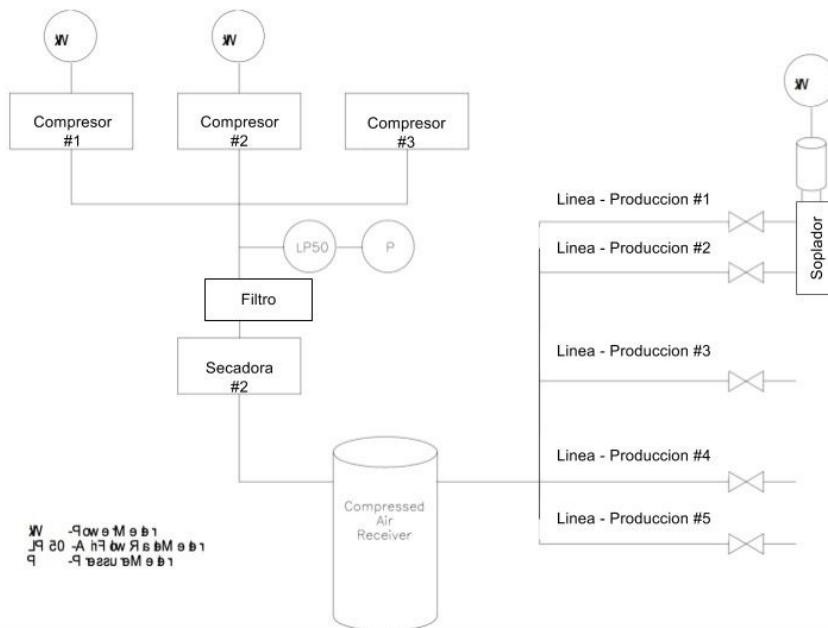


FIGURA 3. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO BANDLOCK SIMPLIFICADO Y LÍNEAS DE PRODUCCIÓN Y UBICACIÓN DE VARIOS MEDIDORES.

RESULTADOS

Se midieron los desempeños de los compresores existentes para determinar si se podría realizar una comparación justa o imparcial. Según el CAC8, el rendimiento típico de operación de los compresores de tornillo sin lubricante está entre 18 y 22 kW por 100 pies cúbicos por minuto (cfm) de aire comprimido. Las tres eficiencias de operación de los compresores existentes eran de aproximadamente 20 kW por 100 pies cúbicos, lo cual está dentro de la eficiencia operativa típica; Consulte el Apéndice A para obtener más información. Pruebas adicionales indican, como se describe en el Apéndice B, que no había factores extraños (por ejemplo, fugas de aire excesivas, controles inadecuados del compresor, etc.) que pudieran afectar los resultados de las pruebas.

La Figura 4 muestra la comparación de la energía de la línea de base (es decir, usando sólo aire comprimido para todas las líneas de producción) y la solución EE (es decir, la conversión del uso de aire comprimido inadecuado con el soplador para dos líneas de producción). La primera prueba se llevó a cabo el 8 de diciembre de 2010 en el sitio de prueba. El análisis de regresión lineal indica que hay reducciones de aproximadamente 9.64 kW (es decir, la diferencia de dos pendientes mostradas en el gráfico) convirtiendo el uso inadecuado de aire comprimido en aire de soplado para dos líneas de producción, la reducción de 9.64 kW representa los 1.36 kW adicionales de potencia de soplado. Esto significa que aproximadamente 11 kW de aire del compresor fueron reemplazados por 1.36 kW de aire del ventilador; Aproximadamente una reducción del 88% en el poder. Si aplicamos 6,000 horas anuales de funcionamiento, el ahorro energético anual total es de unos 57,800 kWh.

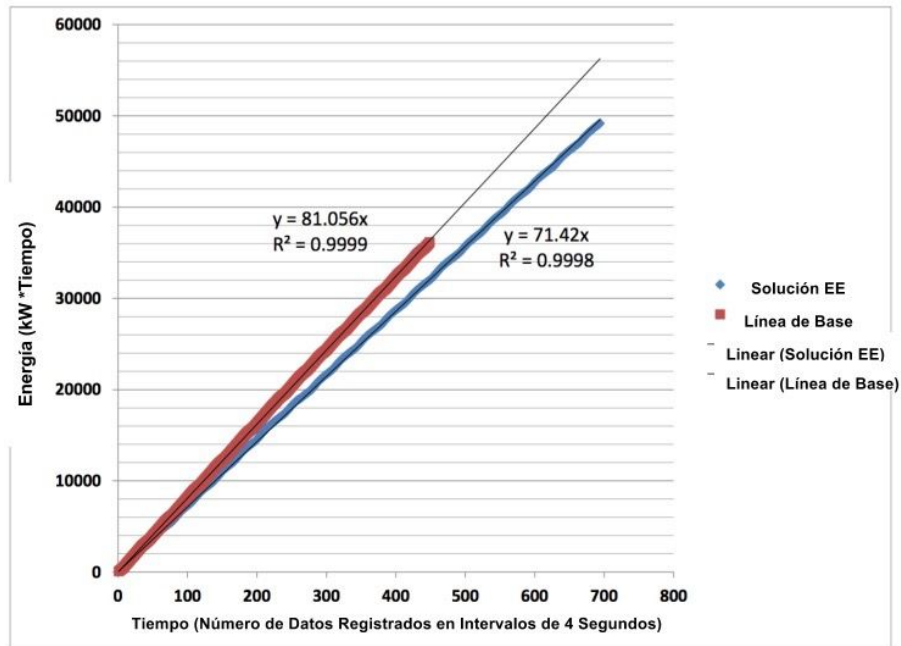


FIGURA 4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL 8 DE DICIEMBRE DE CONVERTIR EL USO INAPROPIADO DE AIRE COMPRIMIDO EN AIRE DE SOPLADOR

⁸ p. 31, "Fundamentals of Compressed Air Systems," The Compressed Air Challenge, 2004

Las estadísticas simples de los datos de kW colectados el 8 de diciembre se muestran en la Tabla 2. Nota, el valor medio de ahorro de kW presentado en la Tabla 2 es ligeramente diferente al de la Figura 4, un análisis de regresión, ya que los datos recogidos no se distribuyen normalmente (es decir, la distribución de los datos está sesgada a un lado).

TABLA 2. ESTADÍSTICAS DE LOS DATOS COLECTADOS EN LAS PRUEBAS DEL 8 DE DICIEMBRE

CASO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	MEDIA (kW)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (kW)	95% CI ⁹ - BAJO (kW)	95% CI - ALTO (kW)
LÍNEA BASE	449	80.5	11	79.5	81.5
SOLUCIÓN EE	695	70.8	13.1	69.9	71.8
AHORROS kW		9.7		8.3	11.1

Los ahorros de energía y la reducción de la demanda potencial provienen de la reducción del tiempo de ciclo del compresor, como se ilustra en la Figura 5. En el estudio, los compresores se dejan más tiempo para proporcionar más aire comprimido por dos líneas de producción. Cuando el soplador está encendido, la cantidad de aire comprimido usado por las dos líneas de producción se aproxima a cero (es decir, cerrando el aire comprimido para dos líneas de producción); Por lo tanto, los compresores no necesitan permanecer más tiempo para producir aire comprimido; Comparó dos áreas circundadas en la Figura 5. Dos líneas de producción requerían aproximadamente 90 cfm de aire comprimido. Esto se determinó instalando un LP50, un medidor de caudal. El caudal de aire comprimido se determinó funcionando primero los compresores que alimentan todo el sistema y dos líneas de producción para aplicaciones de soplado abierto mientras se carga completamente los compresores con el LP50. La carga del medidor fue de 99 cfm. La aplicación de soplado abierto para dos líneas de producción se apagó entonces y los compresores se llevaron a carga completa con el LP50. El nuevo caudal a través del medidor LP50 fue de 189 cfm. La diferencia en la lectura de flujo de 90 cfm es la cantidad de aire comprimido necesaria para dos líneas de producción porque era el único cambio de carga realizado. Conociendo la eficiencia del compresor (es decir, 20 kW / 100 cfm), se puede estimar el ahorro de energía potencial cerrando 90 cfm de aire comprimido; Lo que equivale a reducciones de aproximadamente 18 kW, sin tener en cuenta la potencia adicional requerida para operar el soplador mientras que suministra aire de menor presión a esas dos líneas de producción.

⁹ "CI" Representa el intervalo de confianza.

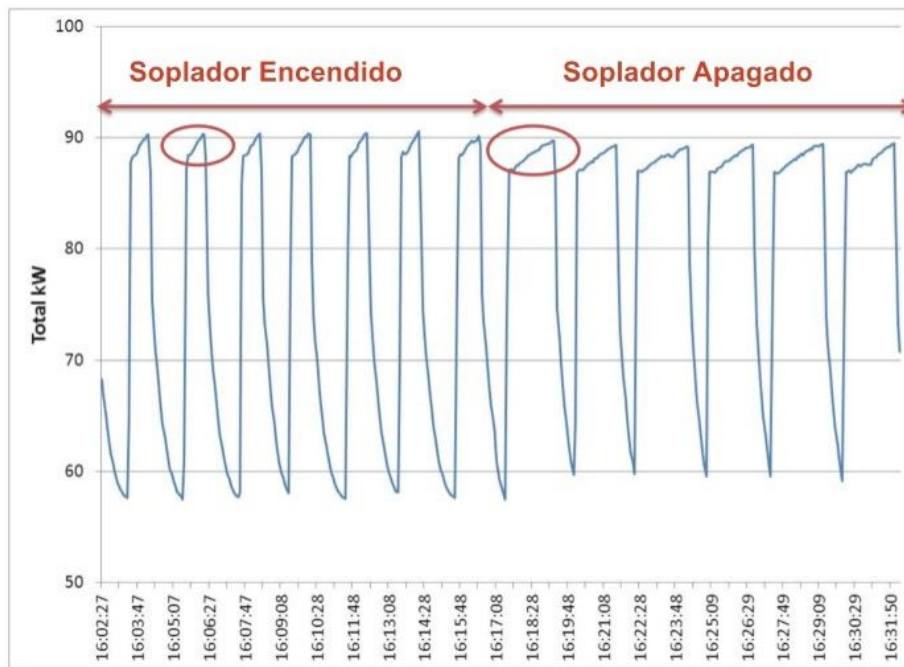


FIGURA 5. CAMBIOS EN EL TIEMPO DEL CICLO DEL COMPRESOR DEBIDO AL SOPLADOR

Una segunda prueba se llevó a cabo el 31 de diciembre de 2010 para validar aún más la primera prueba realizada el 8 de diciembre, eliminando las fluctuaciones del flujo de aire del compresor creado por tres líneas de producción incontroladas. En esta prueba, sólo se conectó un compresor para suministrar aire comprimido a dos líneas de producción mientras que tres líneas de producción estaban apagadas. Los resultados se muestran en la Figura 6 y la segunda prueba válida claramente el primer ensayo con una reducción de 12.97 kW observada. El ahorro energético anual estimado es, por tanto, de 77,800 kWh.

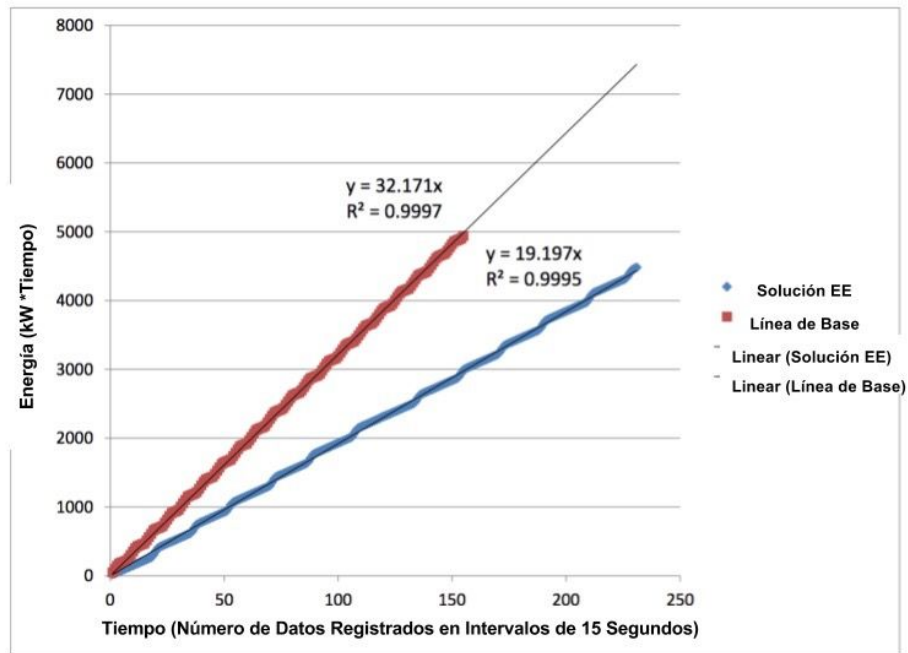


FIGURA 6. RESULTADOS DE LA PRUEBA DEL 31 DE DICIEMBRE DE CONVERTIR EL USO INAPROPIADO DEL AIRE COMPRIMIDO EN AIRE DE SOPLADOR

Las estadísticas simples de los datos de kW colectados el 31 de diciembre se muestran en la Tabla 3. Obsérvese que el valor medio de los ahorros de kW presentados en la Tabla 3 es ligeramente diferente al de la Figura 6, ya que los datos recogidos no se distribuyen normalmente.

TABLA 3. ESTADÍSTICAS SIMPLES DE LOS DATOS RECOPIADOS EN LA PRUEBA DEL 31 DE DICIEMBRE

CASO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	MEDIA (kW)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (kW)	95% CI - BAJO (kW)	95% CI - ALTO (kW)
LÍNEA BASE	155	31.9	15.8	29.4	34.3
SOLUCIÓN EE	231	19.4	10.8	18	20.8
AHORROS DE ENERGÍA		12.5		9.5	15.5

Los resultados de este proyecto son definitivos; El soplador de baja presión puede ahorrar una cantidad significativa de energía en comparación con el aire comprimido que se utiliza de manera inapropiada.

Como parte del alcance de este proyecto, también se utilizó el software AirMaster + del Departamento de Energía de EE.UU. (DOE) para realizar un cálculo de ahorro de energía adicional para convertir la aplicación de soplado abierto del aire comprimido al aire del soplador. AirMaster + es un programa de software diseñado para modelar y evaluar los ahorros de energía para los sistemas de aire comprimido específicos del sitio.

Los resultados de la evaluación AirMaster + predijeron que la energía anual del compresor actual sería de 221,000 kWh. Con un soplador instalado para dos líneas de producción, el AirMaster + estimó el consumo anual de energía del compresor a 114,000 kWh y la energía del soplador a 14,000 kWh. Por lo tanto, el consumo anual total de energía es de 128,000 kWh con sopladores. El modelo AirMaster + muestra un ahorro anual neto de energía de 93,000 kWh, que es superior a los valores medidos observados en la prueba del 8 de diciembre o del 31 de diciembre. Esto es; Sin embargo, un ahorro de energía realista como el modelo representa todas las reducciones de energía aplicables asociadas con el sistema de compresores, tales como reducción de energía en el uso de la secadora, caída de presión asociada con filtros, fugas de aire, etc Por lo tanto, AirMaster + también confirma el ahorro de energía en las pruebas de campo del 80% al 90%.

Es digno de notar que los resultados de ahorro de energía de AirMaster + es similar a un simple cálculo presentado anteriormente. Como se describió anteriormente, dos líneas de producción requerían aproximadamente 90 cfm de aire comprimido. La eficiencia del compresor era de aproximadamente 20 kW por 100 cfm. Mediante la reducción de 90 cfm, podemos ahorrar 18 kW (es decir, $90 \text{ cfm} \times 20 \text{ kW} \div 100 \text{ cfm}$) en promedio. Si restamos 1.36 kW para el uso del ventilador, podemos estimar un ahorro de energía de 16.6 kW. Multiplique este número por 6,000 horas de operación anuales, tenemos un ahorro anual de 99,600 kWh, lo cual está más cerca de la estimación del DOE AirMaster +.

Si las cinco líneas de producción en el sitio fueran convertidas, se podrían lograr ahorros adicionales de energía y demanda. La conversión total probablemente permitiría al personal de la planta apagar un compresor de 50 HP y descargar significativamente los otros compresores. Los ahorros estimados son:

- Reducción estimada de la demanda potencial = 42 kW (es decir, apagando un compresor).
- Estimación de ahorro anual de energía = 252,000 kWh.

La Figura 7 ilustra que el sitio de prueba funcionó las líneas de producción 24 horas al día, 5 días a la semana del 9 de diciembre al 23 de diciembre de 2010.

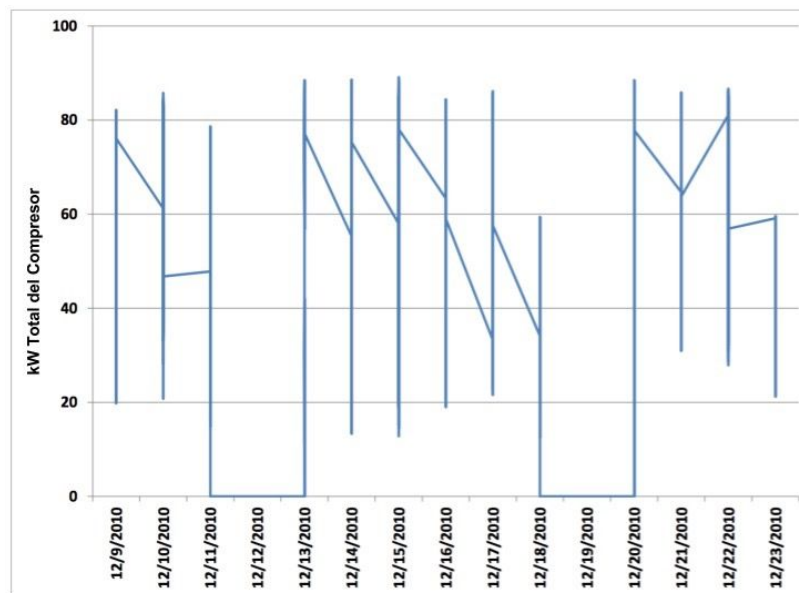


FIGURA 7. HORAS DE FUNCIONAMIENTO INDICADAS LOS REGISTROS DE KW DEL COMPRESOR DEL 9 DE DICIEMBRE AL 23 DICIEMBRE DE 2010

La Figura 8 también muestra que el sitio funciona su operación 24 horas al día, 5 días a la semana, excepto un día de descanso el 31 de diciembre de 2010. Por lo tanto, 50 semanas de operación es razonable para estimar los ahorros anuales de energía.

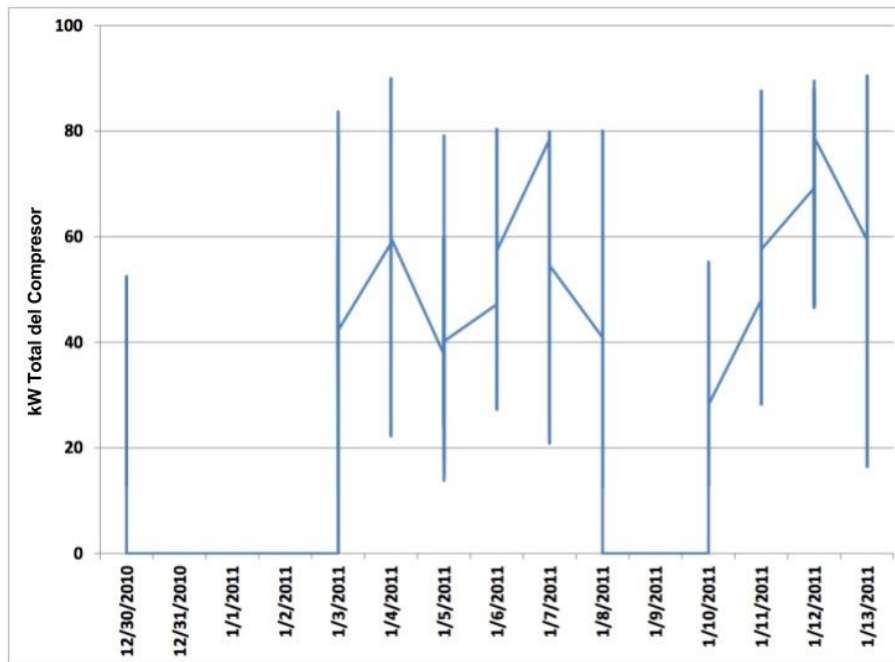


FIGURA 8. HORAS DE FUNCIONAMIENTO INDICADAS POR LOS REGISTROS DE KW DEL COMPRESOR DESDE EL 30 DE DICIEMBRE DE 2010 HASTA EL 13 DE ENERO DE 2011

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 alto EE son

relativamente nuevos y necesitan ser estudiados más a fondo. Por lo tanto, la tecnología de sopladores de energía eficiente tiene un potencial excepcional como objetivo de ahorro de energía, así como posibles reducciones de la demanda máxima en diversos procesos industriales. Según el reciente estudio de mercado, hay un gran número de aplicaciones de soplado abierto en California, donde se pueden implementar sopladores EE para ahorrar energía y potencialmente reducir la carga de demanda.

ANÁLISIS DE ERROR

Los datos eléctricos se recolectaron utilizando calibradores PowerSight 3000 verdaderos medidores RMS con una precisión de $\pm 2\%$. El medidor de flujo LP50 tiene una precisión de $\pm 2\%$. Las lecturas de presión se tomaron con registradores de presión calibrados Dickson PR123 con una precisión de $\pm 0,25$ psig. Los medidores eléctricos fueron calibrados por el fabricante el 4 de noviembre de 2010, y los registradores de presión fueron calibrados por el fabricante el 21 de julio de 2010.

El análisis de errores para un pequeño número de variables independientes se puede hacer como sigue. La lectura del kW, por ejemplo, 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 error en kW es impulsado por el dispositivo más inexacto. En este caso, la sonda de corriente es el dispositivo más inexacto. Su nivel de precisión es del 2%, lo que implica que el error de kW será inferior al 2.1%. Este nivel de imprecisión o penetración de errores en los datos no impedirá el resultado de este proyecto.

EVALUACIONES

El soplador de baja presión se realizó como se esperaba para convertir el uso inapropiado de aire comprimido en el sitio de ensayo de campo. Las barreras significativas de la implementación de sopladores de EE provienen de la falta de comprensión de identificar el uso inapropiado del aire comprimido ¹¹ y el conocimiento aplicable de sopladores de tamaño correcto y la selección de boquillas adecuadas para la aplicación de soplador abierto.

La prueba realizada el 8 de diciembre y el 31 de diciembre de 2010 demostró claramente que del 80% al 90% del ahorro de energía se puede lograr convirtiendo el uso inapropiado de aire comprimido al aire del ventilador para procesos de soplado abierto. Los resultados de la evaluación de campo se resumen en la Tabla 4, a continuación.

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

	MEDIA	95% CI “INTERVALO DE CONFIANZA” - BAJO	95% CI “INTERVALO DE CONFIANZA” - ALTO
REDUCCIÓN POTENCIAL DE DEMANDA ¹²	12.5 kW	9.5 kW	15.5 kW
AHORROS ANUALES DE ENERGÍA ¹³	75,000 kWh	57,000 kWh	93,000 kWh

Un beneficio adicional para convertir el uso inapropiado de aire comprimido al aire del soplador es la reducción de ruido audible (medida en decibelios o dB (A)) en el área de producción. Los resultados de la prueba de ruido indican que se produjo una reducción de ruido de 10 dB (A) al instalar el ventilador. El nivel de ruido para el uso de aire comprimido (aproximadamente 4 pies desde la aplicación de soplado abierto) era de aproximadamente 93 a 98 dB (A) mientras que el soplador estaba entre 82 y 88 dB (A).

¹¹ SCE (2010), “Blower Market Assessment” (“Evaluación del Mercado del Soplador”).

¹² Basado en los resultados de las pruebas del 31 de diciembre de 2010.

¹³ Basado en las 6000 horas de funcionamiento anuales.

RECOMENDACIONES

Este proyecto valida el ahorro de energía y la reducción de la demanda potencial de convertir el uso inapropiado de aire comprimido a sistemas de ventilación de aire; Especialmente para aplicaciones de soplado abierto. A pesar del esfuerzo de más de una década de la CAC de educar y alentar las mejores prácticas para usos del sistema de aire comprimido, mientras que discurriendo usos inapropiados, muchos clientes comerciales e industriales siguen utilizando aire comprimido de manera inapropiada. El problema está profundamente penetrado en las prácticas de diseño también. Por ejemplo, el sitio de la prueba pasó por una evaluación exhaustiva del compresor tres meses antes de este proyecto. El consultor del diseño del sistema aún recomienda un nuevo compresor EE sobre los sopladores. El cliente intentó con un soplador antes; Sin embargo, no realizaría los mismos procesos de soplado abierto como el aire comprimido. Por lo tanto, el cliente estaba considerando la compra de un nuevo compresor EE para ahorrar energía. Después de este proyecto, el cliente está tomando medidas para convertir todas las líneas de producción con sopladores EE. Sus esfuerzos eliminarán la necesidad de un nuevo compresor y pueden reducir el número de compresores en el sitio también.

También hay un error común entre los clientes industriales, que el rendimiento del compresor es superior a sopladores. Además, se observó que la concienciación de las tecnologías de sopladores de aire para diversas aplicaciones industriales era relativamente baja ¹⁴. Por lo tanto, se necesitan más materiales educativos y la promoción de tales tecnologías.

Por lo tanto, se recomiendan los siguientes pasos:

- **"Crear Demanda"** identificando el uso inapropiado del aire del compresor en diversos segmentos industriales y reemplazandolo con productos EE (por ejemplo, soplantes EE); Por lo tanto, creando más demanda en productos EE como sopladores para muchas aplicaciones abiertas de soplado.
- **"Crear Saber Cómo"** (Know How) mediante la realización de varias evaluaciones de campo o proyectos de demostración para procesos industriales comunes como el proceso de ahorro. Hay herramientas y conocimientos que soportan el "lado de la oferta" de un compresor, pero ninguno para las herramientas de "lado de la demanda". Este estudio recomienda el desarrollo de herramientas de "tamaño de la demanda" y materiales educativos que dimensionen correctamente los sopladores con boquillas apropiadas o cuchillas de aire.
- **"Crear suministro"** mediante la identificación de productos de EE (por ejemplo, sopladores) desarrollando primero un estándar de energía y estableciendo estándares

de rendimiento de eficiencia energética (por ejemplo, nivel 1 o nivel 2 de CEE) con niveles de incentivo adecuados. Este esfuerzo puede atraer a los fabricantes para fabricar más productos EE. Actualmente, no hay estándares de eficiencia energética reconocidos por la industria para sopladores o sistemas de etiquetas como NEMA Premium™ o Energy Star™. Por lo tanto, crea una barrera adicional cuando un cliente necesita elegir un producto EE como un soplador.

¹⁴ SCE (2010) "Blower Market Assessment" ("Evaluación del Mercado de Sopladores")

En el momento de este proyecto, no había medidores de flujo de aire precisos disponibles para el tamaño de la tubería por menos de 1/2 pulgadas. Por lo tanto, la realización de estudios con mediciones directas del flujo de aire puede ciertamente validar aún más los ahorros de energía y las reducciones potenciales de la demanda con mayor precisión.

También es importante educar a los operadores de la planta para que no vuelvan a conectar tuberías de aire comprimido selladas o abandonadas a los mismos procesos de soplado abierto o similares en el futuro. Sin el entrenamiento o la educación adecuados, el operador puede volver a conectar el sistema de aire comprimido existente, por ejemplo, a los mismos o similares procesos de soplado abierto porque hay una idea errónea de que el aire comprimido es "barato" o "libre" y puede ser fácilmente expandido mediante la instalación de tuberías y válvulas.

APÉNDICE A “COMPRESORES EXISTENTES”

PRUEBAS DE RENDIMIENTO

Los gráficos muestran el rendimiento del compresor como se comprobó mientras el compresor se aisló del sistema. El compresor es un Atlas-Copco modelo GAU50 de 50 caballos de fuerza. El flujo del compresor a 100 psig se midió a 208 cfm, lo cual está en el extremo inferior del rendimiento aceptable de este compresor según las especificaciones del fabricante. Según el CAC¹⁵, la eficiencia de funcionamiento típica de los compresores de tornillo sin lubricante es de 18 - 22 kW por 100 cfm. La eficiencia de funcionamiento del compresor No. 1 es de aproximadamente 20 kW por 100 cfm. Por lo tanto, podemos utilizar el compresor existente con el propósito de establecer la línea de base.

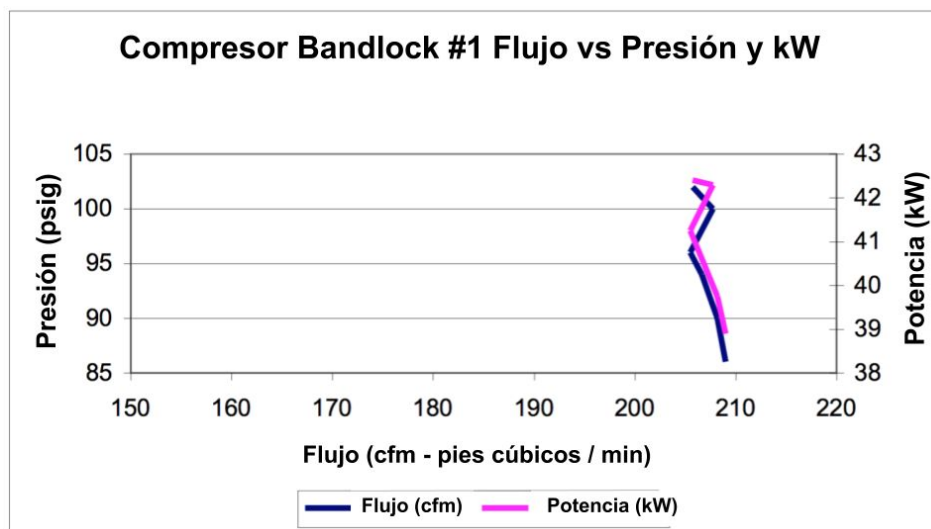


FIGURA 9. POTENCIA DEL COMPRESOR 1 CON Y SIN FUNCIONAMIENTO DEL SOPLADOR

¡Error! No se encontró fuente de referencia. Muestra el rendimiento del compresor tal como se ensayó mientras que el compresor se aisló del sistema. El compresor es un Atlas-Copco modelo GAU50 de 50 caballos de fuerza. El flujo medido para el compresor fue de 221 cfm a 99 psig y está dentro de los límites aceptables de rendimiento para los compresores. Asimismo, la

eficiencia operativa del compresor No. 2 es de aproximadamente 20 kW por 100 cfm, lo que queda dentro de la eficiencia de funcionamiento típica.¹⁶

¹⁵ p. 31, *ibid*

¹⁶ *ibid.*

FIGURA 10. POTENCIA DEL COMPRESOR 2 CON Y SIN FUNCIONAMIENTO DEL VENTILADOR

¡Error! No se encontró fuente de referencia. Muestra el rendimiento del compresor tal como se ensayó mientras que el compresor se aisló del sistema. El compresor es un compresor Atlas Copco Modelo GA37 de 37kW. El caudal medido para el compresor era de 200 cfm a 100 psig y está dentro de los límites aceptables. Asimismo, este compresor cae dentro del rango típico de eficiencia de funcionamiento.

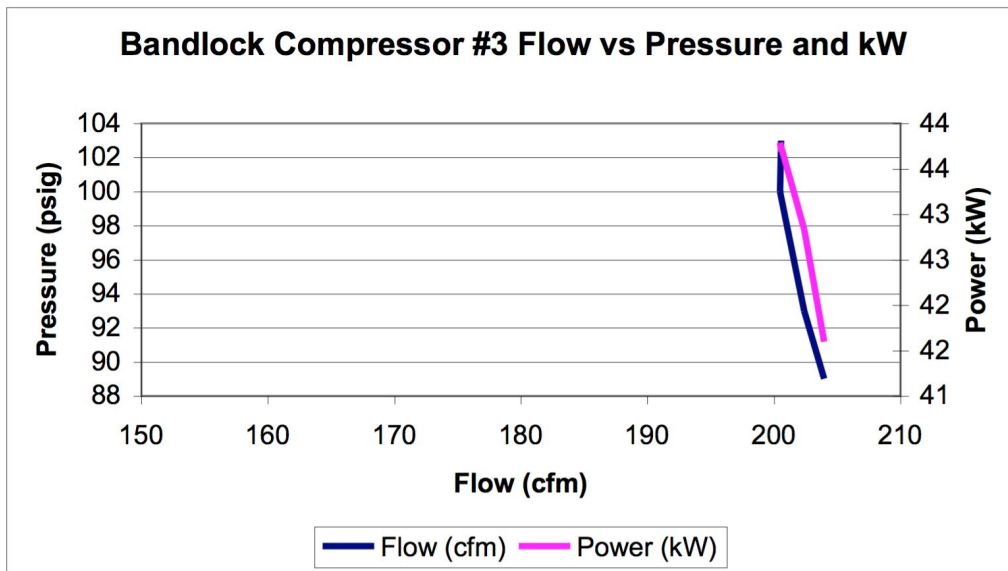


FIGURA 10. POTENCIA DEL COMPRESOR 3 CON Y SIN FUNCIONAMIENTO DEL SOPLADOR

APÉNDICE B – PRUEBAS DE VARIOS COMPRESORES.

Los siguientes ensayos adicionales se realizaron en los compresores existentes. Los resultados de las pruebas se destacan a continuación:

- No se observaron problemas en los controles del compresor y en la calibración de la válvula.
- Los límites de carga del compresor eran apropiados, los límites de descarga se fijaron a 102 psig para el compresor #1, 107 psig para el compresor #2 y 103 psig para el compresor #3. Estos ajustes son apropiados para el control en cascada.
- El método de control para los compresores es los puntos de ajuste en cascada. A medida que la producción aumenta o disminuye, los compresores cargan y descargan según los valores preestablecidos para satisfacer las cargas de producción. Todos los ajustes eran apropiados para esta instalación y producciones de uso final.
- La calidad y el dimensionamiento del filtro de aire de entrada eran apropiados y se cambiaban en un horario regular.
- La calidad y el tamaño de las tuberías de entrada y descarga eran apropiados. No se encontraron problemas o restricciones.
- Los compresores son refrigerados por aire, por lo tanto, la evaluación de la tubería de agua no era necesaria.

No se observaron problemas relacionados con la calidad del aire comprimido. El sistema de aire comprimido se ensayo para detectar la cantidad de fugas de aire durante un período de no desplazamiento y no producción. El volumen de fugas del sistema medido fue de 18 cfm, o aproximadamente el 5% del sistema.

La Figura 11 representa las variaciones de presión del sistema de aire comprimido medido entre el 6 de diciembre y el 23 de diciembre de 2010. La presión oscila entre un mínimo de 88 psig y un máximo de 106 psig durante las operaciones normales de la planta. Los puntos de ajuste de los compresores están a 100 psig. Esta información se presenta como una referencia para el estudio del sitio.

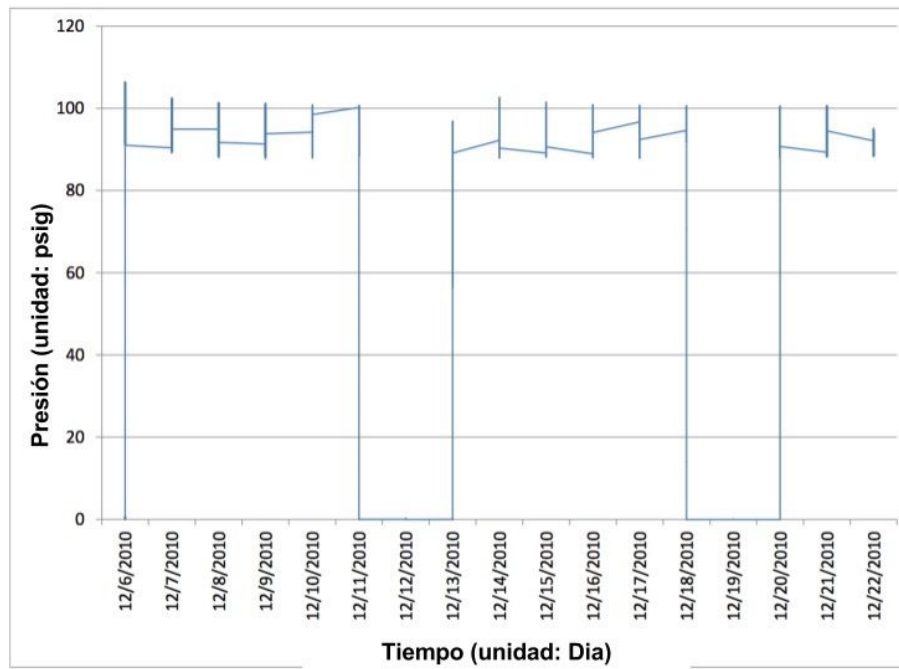


FIGURA 11. NIVEL DE PRESIÓN DEL SISTEMA DEL SISTEMA DE COMPRESORES EXISTENTE

APÉNDICE C – ARCHIVOS DE LOS DATOS

Cada uno de los siguientes archivos se envió con el informe como un adjunto separado.

TABLA 5. LISTA DE NOMBRES DE ARCHIVOS DE DATOS

Nombre de Archivo	Nombre Equipo	Fecha Inicio	Fecha Fin	Intervalo de Tiempo / Lecturas
BNDLK Comp 2 Meter Data 3 min 12-6-10.xls	Comp 2	12-6-10	12-8-10	3 minutos
BNDLK Comp 3 Meter Data 3 min 12-6-10.xls	Comp 3	12-6-10	12-8-10	3 minutos
BNDLK Blower Meter Data 3 min 12-6-10.xls	Blower	12-6-10	12-8-10	3 minutos
BNDLK Comp 2 Test Data 4 sec 12-9-10.xls	Comp 2	12-8-10	12-10-10	4 segundos
BNDLK Comp 3 Test Data 4 sec 12-9-10.xls	Comp 3	12-8-10	12-10-10	4 segundos
BNDLK Blower Test Data 4 sec 12-9-10.xls	Blower	12-8-10	12-10-10	4 segundos
BNDLK Comp 2 Meter Data 1 min 12-23-10.xls	Comp 2	12-10-10	12-23-10	1 minuto
BNDLK Comp 3 Meter Data 1 min 12-23-10.xls	Comp 3	12-10-10	12-23-10	1 minuto
BNDLK Blower Meter Data 1 min 12-11-10.xls	Blower	12-9-10	12-11-10	1 minuto
BNDLK Comp 2 Meter Data 1 min 1-13-11.xls	Comp 2	12-31-10	1-13-11	1 minuto
BNDLK Comp 3 Meter Data 1 min 1-13-11.xls	Comp 3	12-31-10	1-13-11	1 minuto
BNDLK Comp 2 Meter Data 15 sec 12-30-10.xls	Comp 2	12-30-10	12-30-10	15 segundos
BNDLK Comp 3 Meter Data 15 sec 12-30-10.xls	Comp 3	12-30-10	12-30-10	15 segundos
BNDLK Blower Meter Data 15 sec 12-30-10.xls	Blower	12-30-10	12-30-10	15 segundos
BNDLK Air Master Comp Run.mdb	Comp	NA	NA	NA
BNDLK Air Master Blower Run.mdb	Blower	NA	NA	NA