

**DIAGNOSTICO ENERGETICO DEL SISTEMA AIRE COMPRIMIDO DE LA  
EMPRESA PETCO SA.**

**CARLOS E. CEBALLOS V.  
CARLOS E. CONTRERAS B.**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA Y MECATRONICA  
CARTAGENA DE INDIAS  
2006**

**DIAGNOSTICO ENERGETICO DEL SISTEMA AIRE COMPRIMIDO DE LA  
EMPRESA PETCO SA.**

**CARLOS E. CEBALLOS V.  
CARLOS E. CONTRERAS B.**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el titulo de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
JAIR MEZA BLANCO**

**Ing. Mecánico**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA Y MECATRONICA  
CARTAGENA DE INDIAS  
2006**

**NOTA DE PRESENTACIÓN**

---

---

---

**FIRMA DEL PRESIDENTE DE JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

---

**Cartagena de Indias D. T. Y C. Noviembre 23 de 2006**

Cartagena de Indias D.T. y C., Septiembre 18 de 2006

Señores  
COMITÉ CURRICULAR  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
Facultad de Ingenierías  
Cartagena

Estimados señores

Luego de revisar el trabajo de grado **“DIAGNOSTICO ENERGETICO DEL SISTEMA AIRE COMPRIMIDO DE LA EMPRESA PETCO SA.”** de los estudiantes CARLOS E. CONTRERAS B Y CARLOS E. CEBALLOS V; considero que cumple con los objetivos propuestos, por lo que estoy de acuerdo en presentarlo formalmente para su calificación y así optar por los títulos de Ingenieros Mecánicos.

Cordialmente

---

ALFREDO ABUCHAR CURI

Director del Proyecto

Cartagena de Indias D.T. y C., Septiembre 18 de 2006

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Facultad de Ingenierías

Cartagena

Estimados señores

La presente tiene como objeto presentar a ustedes, para que sea puesto en consideración, el estudio y aprobación de la monografía titulada “**DIAGNOSTICO ENERGETICO DEL SISTEMA AIRE COMPRIMIDO DE LA EMPRESA PETCO SA**” la cual fue realizada cumpliendo con las pautas establecidas y los derechos de la información suministrada por la empresa, y así poder optar por los títulos de Ingenieros Mecánicos.

Cordialmente

---

CARLOS E. CONTRERAS B.  
C.C: 92, 508,560 de Sincelejo

---

CARLOS E. CEBALLOS V.  
C.C: 73.577,428 de Cartagena

Cartagena de Indias D.T y C., Diciembre 7 de 2006

### **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, CARLOS E. CONTRERAS B identificado con cedula de ciudadanía número 92, 508,560 expedida en la ciudad de Sincelejo y CARLOS E. CEBALLOS V. identificado con cedula de ciudadanía número 73.577,428 de Cartagena, autorizamos a la UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR, para hacer uso de nuestro trabajo de grado y publicarlo en el catalogo on-line de su biblioteca.

Cordialmente

---

CARLOS E. CONTRERAS B  
C.C: 92, 508,560 de Sincelejo

---

CARLOS E. CEBALLOS V.  
C.C: 73.577,428 de Cartagena

Dedico la culminación de mis estudios a mi Dios todopoderoso por iluminar el sendero de mi superación, ya que con su compañía pude salir adelante en los momentos difíciles, así como a mi Padre ANTONIO EDUARDO CONTRERAS MERCADO, que con su amor, apoyo y sacrificio pude formarme como profesional integro para servir a la sociedad, a mi Madre BLANCA ISABEL BOHORQUEZ DE CONTRERAS por contribuir con su amor al darme la vida y contar siempre con ella para tomar la decisión de lograr este titulo, a mi hermano JORGE DAVID, a mi hermana NANCY ELENA, a mi cuñado EYDER VIERA, a mis sobrinos para que como ejemplo, puedan también llegar a este objetivo.

A mi esposa ALEXANDRA SOFIA LORDUY MERCADO por depositar ese voto de confianza en mi ya que con su amor y comprensión me apoyó en lo necesario para obtener el fruto de este titulo.

A mis Hijas DAYANA PATRICIA, BRENDA ISABEL, NATALIA SOFIA Y LAURA ALEXANDRA, que mas que mi adoración son la base de mis objetivos y triunfos, para ellas con todo mi amor.

A mis amigos que con su apoyo incondicional tuvieron un gran aporte en esta ardua tarea son ellos CARLOS CEBALLOS, FARID JUAN, YESID VELASQUEZ, JOSE OCHOA Y MOISES JUAN JIMENEZ.

A todas las personas que en mi confiaron le dedico este triunfo.

GRACIAS

**CARLOS EDUARDO CONTRERAS BOHORQUEZ**

A mi hijo Carlos Daniel Ceballos A. la razón y mis ganas de superación, a Yomaira C. Ceballos mi apoyo en todas las etapas de mi vida y a cada una de las personas que de una u otra manera contribuyeron a superar cada una de las dificultades y que compartieron mis alegrías.

**CARLOS ERNESTO CEBALLOS VERGARA**



## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores de la monografía expresan sus agradecimientos por su colaboración para la preparación de este trabajo a:

- RAMON ALBERTO RAMIREZ LAINO, Superintendente de Ingeniería y Mantenimiento de PETCO S.A; por darnos la oportunidad de desarrollar nuestro trabajo. Agradecemos también a cada uno de los ingenieros de proceso, técnicos y capital humano en general que labora en esas instalaciones.
- Bienvenido Sarria Lopez, Roberto Joly Herrera, Luis Majana Coneo, Miguel Angel Romero Romero, Justo Rafael Ramos Madrid; por darnos las pautas importantes en el desarrollo investigativo y compartir herramientas de su gran conocimiento y experiencia
- FELIX ALBERTO LOPEZ ANGULO, Ingeniero Electricista de PETCO S.A; por su valiosa colaboración a la hora de tomar los datos necesarios para alcanzar el objetivo propuesto.

## CONTENIDO

	Pág
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>15</b>
<b>1. ANTECEDENTES, EL PROBLEMA, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.1 Planteamiento del problema.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.1 Objetivo general.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>2. GENERALIDADES ENERGETICAS DE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 CALIDAD DEL AIRE .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1 Aire de planta.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2 Aire para instrumentos.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.3 Aire de proceso.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4 Aire para respiración.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 CAPACIDAD DE AIRE DEL SISTEMA.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 NIVEL DE PRESIÓN REQUERIDO.....</b>	<b>22</b>
<b>2.5 USOS INAPROPIADOS.....</b>	<b>23</b>
<b>2.6 FUGAS DEL SISTEMA.....</b>	<b>24</b>
<b>2.6.1 Localización y eliminación de fugas.....</b>	<b>24</b>
<b>2.6.2 Determinación del nivel de fugas en el sistema.....</b>	<b>24</b>
<b>2.6.3 Defina un programa preventivo de fugas.....</b>	<b>26</b>

<b>2.7 CAÍDAS DE PRESION.....</b>	<b>26</b>
2.7.1 Causas de caídas de presión.....	27
<b>2.8 PRESION DE TRABAJO DEL SISTEMA.....</b>	<b>29</b>
2.8.1 Presión en el sistema de distribución.....	30
2.8.2 Presión en el Sistema de Compresión.....	31
2.8.3 Ventajas.....	32
<b>2.9 ESTRATEGIA DE CONTROL.....</b>	<b>33</b>
<b>2.10 ESQUEMAS INDIVIDUALES DE CONTROL</b>	
<b>EN COMPRESORES.....</b>	<b>33</b>
2.10.1 Carga / Sin-Carga.....	35
2.10.2 Moduladores.....	35
2.10.3 Pasos Múltiples o Carga Parcial.....	35
2.10.4 Variadores de Frecuencia (VFD).....	35
<b>2.11 ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA SISTEMAS</b>	
<b>MÚLTIPLES.....</b>	<b>36</b>
2.11.1 Secuenciadores (control maestro simple).....	37
2.11.2 Controles en Red (control multi-maestro).....	37
2.11.3 Controladores de flujo.....	38
2.11.4 Almacenamiento (tanques pulmón).....	38
<b>3. CONSUMO Y COSTO DE ENERGIA DEL SISTEMA</b>	
<b>DE AIRE COMPRIMIDO DE LOS COMPRESORES</b>	
<b>CM- 6U Y CM- 7U DE PETCO S.A.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 ESTADO ACTUAL DE LOS COMPRESORES CM-6U</b>	
<b>Y CM-7U.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2 CONSUMO Y COSTO DE ENERGIA.....</b>	<b>43</b>
3.2.1 Usos inapropiados.....	43
3.2.2 Presión en el sistema de distribución.....	44
<b>4. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>47</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Pérdidas de energía a causa de las fugas.....	25
Tabla 2. Relación de presión Vs porcentaje de ahorro.....	31

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
<b>Figura 1. Clasificación y tipos de compresores.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2. Resistencias al caudal ocasionadas por diversos tipos de accesorios de redes de aire comprimido, convertidas en longitudes de tubos.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3. Uso inadecuado.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 4. Fuga en una trampa de condensado.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 5. Intensificador de presión.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 6. Compresor CM-6U al lado del compresor CM-7U.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 7. Intercambiadores de calor HE-3U.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 8. Tanques secadores DR-6U y postfiltros FIL-5U y FIL-6U.....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE ANEXOS

	Pag
Anexo A. REPORTE.....	51
Anexo B. RATA DE CONSUMO.....	52
Anexo C. REPORTE DE ESTADO ACTUAL.....	53
Anexo D. REPORTE DEL AIRE DEL SISTEMA.....	54
Anexo E. REPORTE INVENTARIO DEL COMPRESOR.....	55
Anexo F. REPORTE DEL CONTORNO DEL SISTEMA.....	56
Anexo G. GRAFICA CARACTERISTICA DEL COMPRESOR – SECUENCIAS.....	57
Anexo H. GRAFICA CARACTRISTICA DEL COMPRESOR – POTENCIA Vs HORA.....	58
Anexo I. GRAFICA CARACTRISTICA DEL COMPRESOR – FLUJO DE AIRE Vs HORA.....	59
Anexo J. GRAFICA CARACTRISTICA DEL COMPRESOR – CAPACIDAD EN % Vs HORA.....	60
Anexo K. REPORTE PARAMETROS DE EFICIENCIA ENERGETICA.....	61
Anexo L. REPORTE DE EFICIENCIA ENERGETICA – CONTROL DE DESCARGA.....	62
Anexo M. REPORTE DE EFICIENCIA ENERGETICA – FUGAS DE AIRE.....	63
Anexo N. REPORTE DE EFICIENCIA ENERGETICA – RESULTADOS.....	64

## INTRODUCCIÓN

El uso del aire comprimido data del año 1700 cuando el físico francés Denis Papin utilizó una rueda hidráulica para comprimir aire y transportarlo a través de tuberías. Casi un siglo después, el inventor inglés George Medhurst patentó la primera máquina de aire comprimido impulsada por un motor; sin embargo, el crédito de la primera aplicación práctica del aire comprimido se otorga al también inventor inglés George Law, quien desarrolló en 1865 el primer taladro para piedra, que fue utilizado para hacer el túnel del ferrocarril en la montaña Mont Cenis en los Alpes Suizos, abierto en 1871, y el túnel Hoosac en el oeste de Massachusetts, en Estados Unidos, puesto en servicio en 1875. Por último, otro avance importante fue el invento del freno de aire para trenes, desarrollado hacia 1868 por el inventor, ingeniero e industrial estadounidense George Westinghouse.

Hoy en día, el aire comprimido es uno de los servicios que con mayor frecuencia utiliza la Industria. Versátil y seguro, es empleado como un fluido de limpieza, refrigerante, elemento transportador, activador de herramientas neumáticas y de diversos sistemas de control; además, puede mezclarse con varios productos y resulta indispensable en infinidad de maquinaria; en la actualidad, muchos procesos robotizados no se conciben sin este importante recurso.

# **1. ANTECEDENTES, EL PROBLEMA, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1 ANTECEDENTES**

PETCO S.A es una compañía privada colombiana, dedicada a producir y comercializar materias primas para la industria de los plásticos. Inició operaciones en 1965, año en que inauguró la producción del policloruro de vinilo, o PVC, en el país. Las instalaciones industriales de PETCO están localizadas en Cartagena, ciudad histórica y principal puerto de Colombia sobre el mar Caribe, donde la empresa dispone de varias plantas para la fabricación de resinas de PVC, dotadas con tecnología de punta y operadas por un experimentado equipo humano.

La empresa PETCO SA cuenta con los siguientes compresores para abastecer sus necesidades de aire comprimido.

CM-6U es un compresor de aire que tiene las siguientes especificaciones y características; capacidad para producir aire comprimido a un flujo de 3771 Nm<sup>3</sup>/hr a 400 HP.

CM-7U es un compresor de aire que tiene las siguientes especificaciones y características; capacidad para producir aire comprimido a un flujo de 3771 Nm<sup>3</sup>/hr a 400 HP.

En el año 2004, estudios realizados por la empresa de consultoría externa SOLUZIONA determino que la fuente de mayor consumo energético en la planta provenía de la producción de aire comprimido.



## **1.2 PROBLEMA DE LA INVESTIGACION**

**1.2.1 Planteamiento del problema.** El uso inapropiado del aire comprimido en la empresa PETCO SA incrementa los tiempos de carga y descarga de los compresores traduciéndose esto en altos costos energéticos. Las fugas audibles y no audibles conexiones en el cabezal para tareas que bien se podrían realizar con equipos que generaran menor consumo representan la oportunidad de ahorro en esta empresa.

**1.2.2 Formulación del problema.** Teniendo en cuenta los estudios realizados anteriormente y habiendo determinado las posibles causas de mayor consumo por parte de los compresores se presenta el siguiente problema.

¿Cómo podría detectar oportunidades de ahorro la empresa PETCO SA sin modificar su índice tecnológico?

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

**1.3.1 Objetivo general.** Realizar un diagnostico del sistema de aire comprimido en la empresa PETCO SA, observando el funcionamiento de los compresores CM-7U, CM-6U y sus usuarios, para evaluar su estado actual e identificar posibles mejoras y ahorro energético.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Inspeccionar las instalaciones y la línea de aire comprimido de los compresores CM-6U y CM-7U, consultando las especificaciones de los equipos (CM-6U y CM-7U), visitas de campo con todo el personal involucrado tanto de producción, proceso y mantenimiento, para conocer el funcionamiento y operación del sistema.
- Analizar e interpretar los datos arrojados por los compresores, para determinar las posibles anomalías causantes del incremento en el consumo energético y así poder confrontar con la base teórica.

### **1.4 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN**

El ahorro en sistemas operados por motores puede lograrse mediante la utilización de motores de alta eficiencia y mejoras en los equipos asociados (bombas, compresores, ventiladores, etc.). Aunque los motores de alto rendimiento son solo ligeramente más eficientes que los convencionales, el ahorro energético y la rentabilidad de la inversión adicional son altos cuando su uso es intensivo. La diferencia en rendimiento entre modelos eficientes e ineficientes es mucho más grande para los equipos mecánicos asociados. Existe además un importante potencial de ahorro en la correcta selección de equipos, cambios en los de transmisión, válvulas, etc., el uso de controladores de velocidad, la reducción de rozamiento en cañerías y conductos, etc.

La empresa PETCO S.A. se dedica a la producción de PVC tipo suspensión, con una producción anual de 360.000 Ton. En la ejecución de este proceso, existe una diversidad de reactores, bombas, compresores de aire, compresores de

refrigeración por amoníaco, calderas, quemadores, secadores rotatorios y otros equipos.

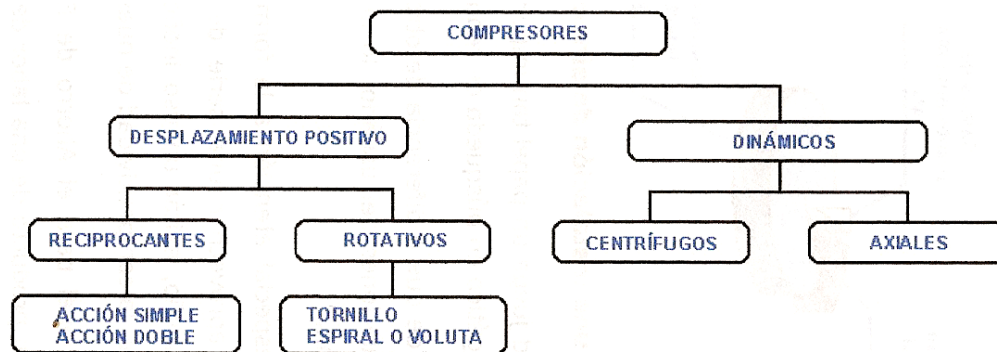
Con las mejoras que se lleven a cabo en el sistema de aire comprimido, PETCO S.A generara así un aumento significativo tanto en sus ingresos como en la producción. Finalmente, la investigación arroja beneficios tecnológicos, académicos y económicos, lo cual hace factible su desarrollo e implementación por parte de PETCO S.A.

## 2. GENERALIDADES ENERGETICAS DE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

El aire del ambiente es, por así decirlo, la materia prima en los sistemas de aire comprimido. Está compuesto básicamente de nitrógeno (78%), oxígeno (21%), argón (0.9%) y trazas (0.1%) de bióxido de carbono, neón, helio y kriptón; físicamente es inodoro, incoloro y no tiene sabor.

El aire comprimido no es otra cosa que el mismo aire del ambiente atrapado en un mecanismo donde se incrementa su presión por la reducción del volumen a través de un proceso mecánico. La máquina que realiza este trabajo es conocida como compresor, del cual existen básicamente dos tipos: los compresores de desplazamiento positivo y los compresores dinámicos.

**Figura 1. Clasificación y tipos de compresores**



Tomado de "Manual CONAE, Sistemas de aire comprimido"

### 2.1 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Un sistema de aire comprimido se divide en dos partes: el suministro y la demanda. Del lado del suministro, encontraremos el paquete de compresión,

compuesto por el compresor, el motor del compresor, controladores y equipo de tratamiento del aire, como filtros, enfriadores, secadores, tanques de almacenamiento, etc. Por el lado de la demanda, están el cabezal principal, compuesto por las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores, equipo neumático, etc.

Cada uno de los elementos mencionados, tanto del suministro como de la demanda, tienen una aplicación específica para el mejor desempeño del sistema y, en cada caso, se deberá cuidar su funcionamiento a través de un adecuado mantenimiento.

Las necesidades del aire comprimido están definidas por tres factores determinantes: 1) la calidad, 2) la cantidad y 3) el nivel de presión requerido por los usuarios finales en una planta. Si determinamos cuidadosamente estas necesidades, estaremos asegurando que la configuración de nuestro sistema de aire comprimido será la más apropiada.

## **2.2 CALIDAD DEL AIRE**

La calidad del aire está determinada por la proporción de humedad y de contaminación (partículas de polvo o aceite) que permita la aplicación final del mismo. En general, se utilizan 4 niveles de calidad en función de su aplicación. En la industria se utiliza los tres primeros:

**2.2.1 Aire de planta.** Aire que puede estar relativamente sucio y húmedo. Por sus características, es empleado en herramientas neumáticas y para usos generales.

**2.2.2 Aire para instrumentos.** Aire con cantidades de humedad y suciedad

moderadas, por lo que es usado en laboratorios sistemas de aplicación de pintura por rocío o pintura en polvo, controles de climas, etc.

**2.2.3 Aire de proceso.** Aire con muy poca humedad y casi nula suciedad; por sus características, es utilizado en la industria química, alimenticia, farmacéutica y electrónica.

**2.2.4 Aire para respiración.** Aire sin humedad y totalmente libre de aceite y polvos, por lo que se usa para recargar tanques de equipos de buceo, en hospitales, consultorios dentales, etc. A mayor calidad del aire, mayor será el costo para producirlo, porque una alta calidad de aire usualmente implica equipo adicional, el cual no únicamente incrementa la inversión del capital inicial, sino que también hace que el sistema global sea más caro de operar en términos de consumo de energía y costos de mantenimiento.

## **2.3 CAPACIDAD DE AIRE DEL SISTEMA**

La capacidad del sistema de aire comprimido se determina sumando el consumo promedio requerido por cada una de las herramientas y por la operación de cada proceso en toda la planta, tomando en cuenta factores de carga de cada uno de éstos.

Todo sistema puede presentar picos de demanda que se pueden satisfacer a través de tanques de almacenamiento o tanques pulmón; éstos serán más efectivos si se localizan lo más cerca posible de donde se requieran estas altas demandas. En muchos casos, una evaluación cuidadosa de la demanda del sistema nos puede llevar a una adecuada estrategia de control a través de estos tanques, de tal suerte que podamos reducir la capacidad global del compresor que se vaya a adquirir.




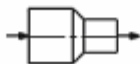
## 2.4 NIVEL DE PRESIÓN REQUERIDO

El nivel de presión del sistema debe ser definido a través de los requerimientos de presión de cada una de las herramientas que normalmente han sido probadas por sus fabricantes a dichas presiones.

En cambio, las presiones requeridas por los diferentes procesos deben ser especificadas por el ingeniero de proceso. Con ambos requerimientos se puede definir el nivel de presión del sistema, no olvidando que a mayor nivel de presión el sistema será más costoso, desde el punto de vista energético y de mantenimiento.

Por otro lado, cuando se defina el nivel de presión del sistema, se deben de tomar en cuenta las pérdidas del sistema a través de las tuberías y accesorios de los equipos adicionales, como secadores, separadores, filtros, etc.

**Figura 2. Resistencias al caudal ocasionadas por diversos tipos de accesorios de redes de aire comprimido, convertidas en longitudes de tubos (datos en metros)**

Denominación	Accesorio	Longitudes equivalentes en metros									
		Diámetro interior d del tubo en milímetros									
		9	12	14	18	23	40	50	80	100	
Válvula esférica		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	1,0	1,3	
Codo		0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	2,5	3,5	4,5	6,5	
Pieza en T		0,7	0,85	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	7,0	10	
Reductor de 2d a d		0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,9	1,0	2,0	2,5	

Tomado de "Manual FESTO"

## 2.5 USOS INAPROPIADOS

El aire comprimido resulta el servicio más caro en una planta y dado que es limpio, que está disponible rápidamente y es simple de usar, a menudo es utilizado en aplicaciones inapropiadas en donde otras fuentes serían más económicas. Por lo anterior, al considerar el uso de aire comprimido, los usuarios deben evaluar el costo-beneficio de preferir otro tipo de servicio sin perjudicar la producción de la empresa.

*Figura 3. Uso inadecuado*



## 2.6 FUGAS DEL SISTEMA

**2.6.1 Localización y eliminación de fugas.** Un problema típico industrial del que pocos están exentos son las fugas en el sistema de aire comprimido con la consecuente caída de presión en todo el sistema. Esta situación origina varios problemas operativos como son: un trabajo ineficiente de los equipos que utilizan este servicio lo que causa una menor productividad de los mismos; un aumento en la frecuencia de los ciclos del sistema de compresión lo cual disminuye la vida útil de éste y la de los demás componentes del sistema; un aumento en los requerimientos de mantenimiento que incrementa los paros no programados y, por



último obligará a elevar innecesariamente la capacidad de nuestro sistema de compresión.

**Figura 4. Fuga en una trampa de condensado**



Antes de decidir la compra de un compresor extra se debe estudiar el efecto de las fugas, ya que arreglándolas se puede obtener esa capacidad extra que se requiere. La *tabla 1* para determinar rápidamente la cantidad de aire y potencia que se está desperdiciando.

**Tabla I. Pérdidas de energía a causa de las fugas**

Diámetro del Orificio		Fuga de aire a 6 bar		Potencia necesaria para la compresión	
mm	l/s	m3/min	kw		
1	1	0,06	0,3		
3	10	0,6	3,1		
5	27	1,6	8,3		
10	105	6,3	33		

Tomado de "Manual CONAE, Sistemas de aire comprimido"

**2.6.2 Determinación del nivel de fugas en el sistema.** El porcentaje de fugas, en términos de la capacidad del compresor, deberá ser menor al 10% si el sistema recibe un buen mantenimiento; de lo contrario, este porcentaje puede ser del orden de 20-30% de pérdidas de la capacidad del compresor.

El flujo de las fugas es 1214.4 m<sup>3</sup>/h si el compresor tiene una capacidad de 3771 m<sup>3</sup>/h las fugas sería el 32,2% de la capacidad del compresor esto indica un leve mantenimiento del sistema.

La mayoría de los compresores modernos están dotados de medidores de tiempo que llevan un registro de los períodos de 'carga' y 'no carga', por lo que un incremento en el período de carga para el mismo nivel de producción, nos indica que los niveles de fugas han aumentado. Si el compresor no está equipado con un medidor, esto se puede contabilizar de manera práctica con un simple cronómetro.

Si se conoce el caudal ( $V_e$ ) del compresor y el porcentaje de fugas, se puede obtener el flujo de éstas ( $V_L$ ) con la siguiente relación:  $V_L = (V_e \times \%Fugas)/100$ . Las unidades dependerán de las unidades de gasto en las que este el caudal, por ejemplo, m<sup>3</sup>/min., ft/min., etc.

**2.6.3 Defina un programa preventivo de fugas.** Un buen programa preventivo de fugas debe incluir los siguientes componentes: identificación (incluyendo marcado), ajuste, reparación, verificación e involucramiento de todos los empleados.

Todos los usuarios involucrados con el sistema de aire comprimido deben cumplir este programa preventivo de fugas. Al efecto, se sugiere formar equipos en los que participen personas que puedan tomar decisiones y, por supuesto, la gente de producción.

La prevención de fugas debe ser parte de un programa global, en el que se pruebe el desempeño de los sistemas de aire comprimido. Una vez que se detectan y reparan las fugas, el sistema debe de ser nuevamente evaluado.

Dentro del programa de prevención de fugas, se establece un calendario de reemplazo a intervalos regulares cada 3 ó 4 meses de juntas flexibles, mangueras de hule, uniones, empaques, etc. Por otro lado, cuidando no quitarle flexibilidad al sistema, se deben cambiar las uniones roscadas por uniones soldadas.

Instalar válvulas solenoides individuales en cada punto de uso; éstas cortan el suministro del aire comprimido cuando el equipo neumático no tiene actividad, de esta forma se minimizan considerablemente las pérdidas por fugas y las caídas de presión del sistema.

## **2.7 CAÍDAS DE PRESIÓN**

La caída de presión ocurre cuando el aire comprimido viaja, primero, a través del equipo de acondicionamiento (secadores, filtros, etc.) y, segundo, cuando lo hace a través de todo el sistema de distribución. Implementando algunas acciones correctivas, se pueden lograr importantes reducciones en el consumo energético.

En términos de eficiencia energética, el arreglo geométrico más versátil y eficiente para un sistema de distribución, es una línea de distribución principal (cabezal) en forma de anillo (*loop*), cuyos usuarios están distribuidos alrededor de éste.

La caída de presión no debe ser mayor del 10% entre la planta de compresión y el punto más alejado de consumo, por lo que se recomienda mantenerla entre 5 y 15 psi como máximo.

La presión de salida del compresor es de 106 psi y el último usuario que tenemos en la línea es la empacadora PK-7K y esta requiere para su funcionamiento 95 psi, esto nos da una diferencia de 11 psi.

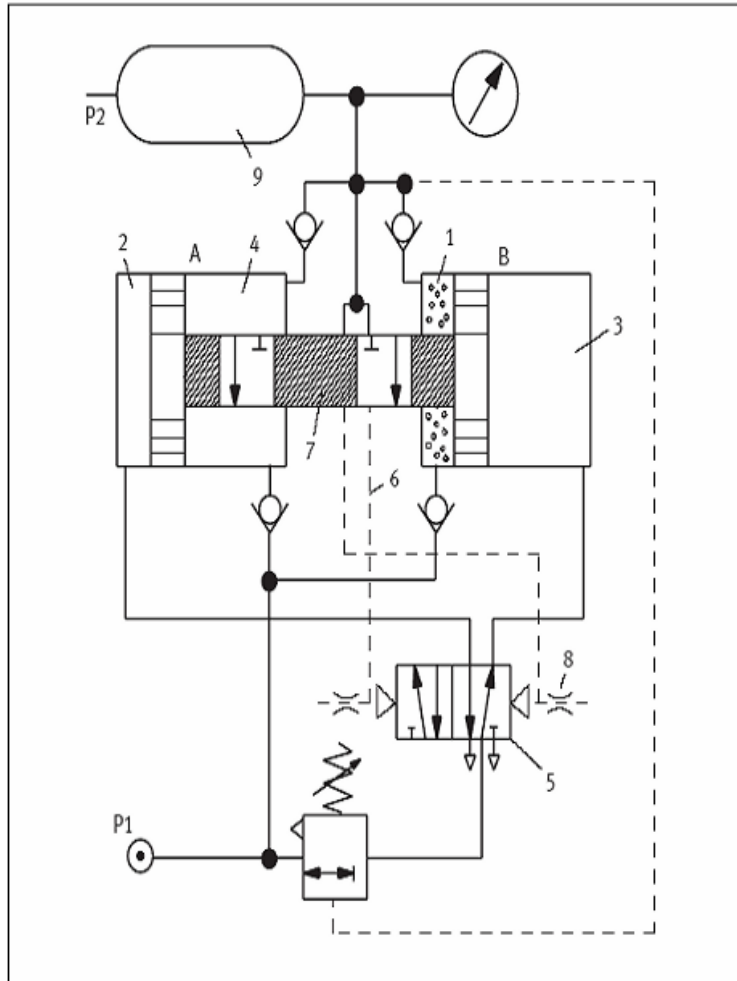
Caídas de presión mayores a los valores señalados darán como resultado un desempeño pobre del sistema y, por lo tanto, un consumo excesivo de energía ya que por cada 2 psi de caída de presión se tendrá un aumento aproximado de un 1% en el costo equivalente de la potencia consumida por el compresor.

Las unidades intensificadoras de la presión (pressure-booster en inglés) se utilizan para que determinadas unidades consumidoras reciban una presión de trabajo superior a la presión de la red. Ello significa que estas unidades intensificadoras tienen el efecto contrario de las unidades reductoras de la presión (válvulas reguladoras). Para aumentar la presión puede recurrirse a diversas soluciones técnicas. Una solución muy elegante consiste en la utilización de un convertidor de doble embolo, tal como se muestra en la *Figura 5*. Para su funcionamiento únicamente se necesita aire comprimido. La intensificación puede llegar a duplicar la presión de la red y llegar a máximo 10 o 16 bar.

**Figura 5. Intensificador de presión**

- 1 Cámara de intensificación de la presión B
- 2 Cámara de trabajo A
- 3 Cámara de trabajo B
- 4 Cámara de intensificación de la presión A
- 5 Válvula de vías
- 6 Línea de mando
- 7 Vástago
- 8 Válvula estranguladora
- 9 Acumulador de presión

- $p_1$  Presión de entrada desde 2 hasta 8 y de 10 bar
- $p_2$  Presión de salida desde 2,5 hasta 10 y 16 bar



Tomado de "Manual FESTO"

**2.7.1 Causas de caídas de presión.** Para identificar qué componentes causan una alta caída de presión, se mide la presión en mangueras, tuberías, conectores, conexiones, filtros, reguladores, válvulas, etc. y, del lado del suministro del sistema, la presión en los separadores de aceite, postenfriador, separador de humedad, secadores y filtros.

Al Inspeccionar la instalación en busca de tramos de tubería dañada, cuyo diámetro se haya reducido por golpes, como por ejemplo: codos, reducciones y conectores dañados, se aconseja reemplazarlos.

La máxima caída de presión en los puntos del lado del suministro ocurre cuando la cantidad de flujo de aire comprimido y la temperatura son altas, por lo que, para poder minimizarlas, se debe mantener el sistema tan cerca como se pueda del diseño original del mismo.

Seleccionar y mantener dentro de las especificaciones de diseño todos los equipos utilizados para acondicionar el aire, o bien, tratar de comprar equipos que proporcionen una menor caída de presión para máximas condiciones de operación.

Verificar que los reguladores de presión, mangueras, conexiones, etc., tengan las mejores características de desempeño a presiones diferenciales bajas.

De ser posible, reducir la distancia que el aire tiene que recorrer a través del sistema de distribución, manteniendo la velocidad del flujo del aire entre 6 *m/s* y 10 *m/s* para reducir al mínimo las caídas de presión en las líneas. Esto se lograra seleccionando correctamente el diámetro de la tubería de distribución.

Asegurar de mantener siempre limpios los componentes, principalmente filtros y secadores, a través de un programa de mantenimiento.

## **2.8 PRESION DE TRABAJO DEL SISTEMA**

Muchas plantas de aire comprimido operan en carga total a una presión de descarga de 100 psi y en vacío a una igual o mayor 116 psi. Por otro lado, es típico encontrar que la mayoría de los equipos y de las herramientas operan eficiente mente con un suministro de aire de 85 psi o menos. Esto lleva a pensar

que se puede, en algunos casos, reducir la presión de descarga del sistema de compresión, o bien, reducir solamente la presión del sistema de distribución o, en el mejor de los casos, reducir ambas presiones.

**Tabla 2. Relación de presión Vs porcentaje de ahorro**

<b>Presión en bar</b>	<b>Ahorro en por ciento</b>
de 6 a 5	17
de 6 a 4	33
de 6 a 3	50

*Tomado de "Manual FESTO"*

Antes de realizar cualquier cambio al sistema, se revisa si la presión de descarga del compresor fue determinada considerando las caídas de presión a través de filtros, tuberías, reguladores, mangueras, etc., de tal manera que se asegure la presión requerida en todos los usuarios.

**2.8.1 Presión en el sistema de distribución.** El reducir y controlar la presión del sistema de distribución, esto es, desde el tanque de recepción primario hasta los puntos de utilización puede resultar en una reducción en el consumo de energía del 10% o más, aún cuando la presión de descarga del compresor no haya sido cambiada. Además, mejora el desempeño global del sistema, ya que se reducen los niveles de fugas y se minimizan los problemas de caídas de presión, aumentando con ello la capacidad del sistema. Por otro lado, se reducen los esfuerzos en los componentes y en los equipos en operación; por ello, si el sistema requiere cantidades significativas de aire comprimido, se especifican los equipos que operan con bajos niveles de presión.

Una reducción en la presión podría requerir modificar o cambiar algunos componentes de acuerdo a las nuevas presiones, tales como controladores, filtros, etc. Es importante hacer estos cambios para evitar que cualquier variación en la demanda cause una disminución en los puntos de uso y que los equipos no operen de forma adecuada; el hacer esto tendrá un costo, pero normalmente éste se recupera rápidamente.

Revisar que se hayan especificado la presión real que utilizarán los equipos; a menudo se comete el error de especificar la presión promedio del sistema, lo que trae como resultado un alto costo en la operación del mismo, dado que los equipos trabajarán entre la presión de descarga y su presión de trabajo; además, habrá fugas y el sistema se irá ensuciando, por lo que los equipos trabajarán, a una presión menor a la requerida.

**2.8.2 Presión en el Sistema de Compresión.** Recordar que a mayor presión mayor será el consumo de energía; por ello, hay que tener en cuenta que en el diseño del sistema de aire comprimido no se haya considerado únicamente los requerimientos de presión máxima, sobre todo cuando unos cuantos usuarios serán los que la utilicen a estos niveles.

Ciertamente reducir la presión del sistema da ahorros significativos pero, antes de hacerlo, se revisa el desempeño del compresor a diferentes presiones de descarga. Si realmente no existe problema con el compresor, cuando se reduzca la presión no olvidar ajustar el control del mismo para la nueva demanda y, de ser posible, poder apagarlo o ponerlo en modo 'sin-carga' para obtener mayor reducción en el consumo de energía.

Cuando se calcule el consumo promedio de aire comprimido de la planta se debe estimar el total que se requiere a baja presión (35 a 50 psi) y el total en alta



presión (arriba de 50 psi) y si cualquiera de éstos constituyen de un 20% a un 30% más que otro, entonces, es conveniente tener un sistema de baja presión (LP) y uno de alta presión (HP).

**2.8.3 Ventajas.** Se reducen proporcionalmente los niveles de fugas, puesto que el nivel de fugas es alto en un sistema que trabaja a alta presión solamente; por otro lado se reducen los costos de operación global además de que el desgaste o deterioro del compresor es menor a baja presión.

Aumenta la vida útil de instrumentos, válvulas, etc., ya que la presión alta tiende frecuentemente a dañar las uniones, empaques, etc., y en algunos casos se reduce la inversión al no tener que comprar válvulas reductoras.

## **2.9 ESTRATEGIA DE CONTROL**

Los controles en los sistemas de aire comprimido hacen que la oferta sea lo más cercana posible a la demanda del sistema. Aunque no siempre se logra en tiempo real, esta ventaja los convierte en la herramienta más importante para obtener reducciones en el consumo energético, ya que un control adecuado dará una operación eficiente y un alto desempeño del sistema, pero se debe ser muy cauteloso al momento de seleccionar tanto el compresor como su sistema de control.

La justificación de todo control está basada en los ahorros en el consumo de energía, dado que se puede obtener desde un 10.5% de ahorro en promedio hasta un 33.5% pudiendo recuperar toda la inversión realizada en menos de un año.

Todo sistema de aire comprimido debe estar diseñado para operar de acuerdo a la capacidad del compresor o del conjunto de compresores, en un rango de presión

fijo y entregar, dentro de estos dos parámetros, el volumen de aire requerido por el sistema; el cual variará de acuerdo a la demanda.

Dado que actualmente los controles son más rápidos y precisos, ya que su operación está basada en microprocesadores, se puede monitorear la presión dentro de un rango de presión más estrecho, a cuya diferencia se le conoce como 'rango de control'; el cual puede variar de 2 psi a 20 psi, dependiendo de la demanda del sistema.

El objetivo de cualquier estrategia de control es monitorear la presión dentro del rango de control, para reducir o incrementar la salida del compresor cuando se alcanzan los parámetros máximos o mínimo, respectivamente. Esto tiene la ventaja de mantener, en forma precisa un promedio más bajo de presión sin ir por debajo del mínimo requerido por el sistema, lo que nos ayuda a evitar efectos negativos en la calidad del producto y a utilizar menos energía.

Por otro lado, cuando se tienen varios compresores, el objetivo es ir sacando de operación los compresores que no se necesitan o desfasar la entrada de éstos e ir metiendo cada uno hasta que la operación lo requiera, cuidando que no entre otro a menos que el anterior esté a plena carga, exceptuando aquel que se deja como auxiliar de los demás.

Toda estrategia de control es específica para un sistema dado y está determinada por el tipo de compresor y por el perfil de la demanda; por ejemplo, para un solo compresor con una demanda muy estable, un sistema de control simple puede ser el más apropiado; por el contrario, con dos o más compresores con una demanda variable y diferentes tipos de uso final, se requerirá una estrategia más sofisticada.

La estrategia de control es esencial para una operación eficiente y obtener un alto desempeño del sistema, ya que, como sabemos, por cada 2 psi de diferencia en

presión se tendrá un incremento aproximado de un 1% en el costo equivalente a la energía consumida por el compresor.

## **2.10 ESQUEMAS INDIVIDUALES DE CONTROL EN COMPRESORES**

**2.10.1 Carga / Sin-Carga.** Conocidos también como controles de velocidad constante, estos esquemas alimentan el sistema en el modo de 'cargar y cuando la presión se alcanza pasan al modo 'sin-carga', donde el compresor sigue trabajando, pero sin entregar aire al sistema; esto permite que el motor opere a velocidad constante.

Generalmente, se utilizan en compresores reciprocantes y en compresores rotativos tipo tornillo de alta capacidad, pero pueden consumir de 15% a 35% de la potencia a plena carga al trabajar en vacío (modo 'sin-carga'), por lo que pueden ser muy ineficientes.

**2.10.2 Moduladores.** Permiten variar la salida del compresor y seguir la demanda, restringiendo la entrada del aire al compresor a través de una válvula de estrangulamiento. Son muy eficientes en compresores centrífugos y más aún cuando se les combina con álabes de entrada que guíen el aire a favor de la dirección en que gira el impulsor, pero se debe tener cuidado con estos compresores, dado que son muy inestables a demandas bajas. En compresores de desplazamiento positivo son muy ineficientes.

**2.10.3 Pasos Múltiples o Carga Parcial.** Debido a que pocos sistemas de aire comprimido operan a plena carga todo el tiempo y dado que el desempeño de un compresor se vuelve crítico a cargas parciales, algunos compresores se diseñan para trabajar bajo estas condiciones de carga a través de estos esquemas de control que permiten regular la presión de salida sin afectar su desempeño y sin requerir un control del tipo prendido/apagado o del tipo carga/sin-carga.

Específicamente, algunos compresores reciprocantes están diseñados para ser controlados a diferentes pasos: pueden ser de 2 pasos (0,100 %), de 3 pasos (0,50,100 %) Y de 5 pasos (0,25,50,75,100 %), logrando con esto tener un control muy ,estrecho de la presión y, con ello, casi una relación directa entre el consumo de potencia del motor y la carga demandada.

En compresores rotativos tipo tornillo, se puede conjuntar este esquema de control con la operación de una válvula de estrangulamiento de entrada para tener una mayor exactitud en el control de la presión, mejorando su eficiencia energética a carga parcial.

**2.10.4 Variadores de Frecuencia (VFD).** A través de variar la frecuencia, los esquemas de control VFD varían automáticamente la velocidad del motor del compresor; esto nos permite hacer un modulado fino de la capacidad del compresor y, por lo tanto, podremos responder fielmente y de forma precisa a las fluctuaciones de la demanda.

Los VFD se pueden instalar en casi cualquier compresor, pero, por sus características, los mejores resultados se obtienen aplicándolos en los compresores rotativos tipo tornillo, sobre todo cuando se tienen demandas fluctuantes, ya que tienen una excelente respuesta a picos de carga.

Los esquemas de control VFD eliminan el modo de operación 'sin-carga', por lo que se eliminan las pérdidas estimadas del 15% al 35% que se tienen por operar en vacío el compresor; además, al poder medir la presión con gran exactitud, nos permiten ajustar la velocidad en forma automática, manteniendo, por lo tanto, una presión constante en el sistema.

## 2.11 ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA SISTEMAS MÚLTIPLES

**2.11.1 Secuenciadores (control maestro simple).** Son dispositivos utilizados para regular un sistema a través de ir metiendo o sacando en secuencia la capacidad de los compresores individuales de acuerdo a la demanda del sistema. La decisión de cuál y cuándo entra o sale un compresor la realiza una unidad maestra.

Este sistema de control, generalmente, ofrece una alta eficiencia, debido a que los rangos de aproximación en la presión, son muy estrechos; esto permite una reducción en la presión promedio del sistema, pero nuevamente, se deben de tomar precauciones cuando se utiliza el promedio más bajo de presión, ya que cambios repentinos en la demanda pueden ocasionar caídas de presión por debajo del mínimo requerido, llevando con esto, a un funcionamiento inadecuado del equipo. Una cuidadosa comparación de los sistemas de control y de la capacidad de almacenamiento de tanques pulmón, puede prevenir estos problemas.

**2.11.2 Controles en Red (control multi-maestro).** Los controles en red ofrecen lo último en sistemas de control. Cada compresor tiene un control individual, pero ligado en forma conjunta y comparten toda la información del sistema, siendo uno de ellos definido como líder. Dado que se comparte información, las decisiones tomadas con respecto a la demanda son mucho más rápidas y precisas, lo que permite disminuir el porcentaje de presión en el sistema, obteniendo con ello los ahorros antes mencionados.

Es importante señalar que estos controladores son utilizados para sacar de operación cualquier compresor que se encuentre operando de manera innecesaria; además, también permiten la operación del compresor de un modo más eficiente. Los controladores utilizados en red son, pues, una combinación de

controles que brindan la posibilidad de controlar un compresor en forma individual, así como todo un sistema de aire comprimido.

A pesar de que los costos para este tipo de control siguen siendo altos, cada día se vuelven más comunes, debido a que reducen de forma importante los costos operacionales, por lo que se debe estudiar cuidadosamente su rentabilidad y buscar la forma de instalarlos.

**2.11.3 Controladores de flujo.** Son sistemas de control de presión o de densidad que son utilizados de manera conjunta con controles individuales o en los sistemas de control descritos anteriormente. Un controlador de flujo no controla de manera directa a un compresor y, generalmente, no está incluido en la compra del compresor. Un controlador de flujo es un elemento que sirve para separar el lado del suministro (sistema de compresión) del lado de la demanda (sistema de distribución).

Los controladores de flujo permiten operar a los compresores muy cerca de su presión óptima para una máxima eficiencia, permitiendo que la presión del lado de la demanda pueda ser reducida hasta el mínimo requerimiento de su uso, pero como parte esencial de control, es necesario dimensionar un tanque pulmón que satisfaga altas fluctuaciones en la demanda.

Un sistema bien diseñado y administrado deberá integrar estrategias de control de la demanda, monitoreos, controles del compresor y almacenamiento. La meta es trabajar con una demanda a la presión más baja posible, tratando de solventar los posibles eventos mediante el aire almacenado en un tanque pulmón; esto puede significar un nivel muy bajo de consumo de energía.

**2.11.4 Almacenamiento (tanques pulmón).** Los tanques de almacenamiento o tanques pulmón se utilizan para controlar períodos de "picos de demanda" en el sistema, reduciendo con ello el nivel de las caídas de presión. Son muy utilizados

para proteger de otros eventos del sistema, con aplicaciones donde el nivel de presión es crítico. Se utilizan también

Para soportar la velocidad de respuesta en el suministro. Es importante tener una válvula de control de flujo para estar rellorando estos tanques. Dadas las ventajas que ofrecen, muchos sistemas que tienen un compresor operando de manera modulada para responder a los eventos en demanda pueden, a través de soluciones estratégicas de almacenamiento, permitir a ese compresor ser sacado de operación.

### **3. CONSUMO Y COSTO DE ENERGIA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LOS COMPRESORES CM- 6U Y CM- 7U DE PETCO S.A**

#### **3.1 ESTADO ACTUAL DE LOS COMPRESORES CM-6U Y CM-7U**

Los compresores CM-6U y CM-7U de PETCO S.A poseen iguales características de diseño y operación.

El compresor CM-6U (*Figura 6*) cuya descarga es en una tubería de 3 pulg y 150 psi va al intercambiador de calor HE-2U, y sale por una tubería de las mismas características, y cuyas condiciones de proceso son las siguientes: la salida del aire de intercambiador HE-2U sale a 79°F y 108 psi, el agua que entra a este intercambiador de calor entra a 27.78°C y 62 psi, y sale a 33°C y 40 psi para ir a otro intercambiador interno que tiene el compresor CM-6U, saliendo de este a una temperatura de 44°C y 15 psi, y para ser utilizada en alguna parte del proceso.

***Figura 6. Compresor CM-6U al lado del compresor CM-7U***





Siguiendo con línea de aire que sale de los intercambiadores, esta sale del HE-2U y se mete a los filtros FIL-3U y FIL-4U , para salir de estos a una presión de 109 psi , de aquí pasa al tanque acumulador de aire Tk-3u.

El compresor CM-7u (*Figura 6*), descarga a una tubería de 3 pulg y 150 psi, para llegar al intercambiador de calor HE-3U (*Figura 7*) y salir de este con las siguientes condiciones de proceso presión 112 psi para llegar a los filtros FIL-3U y FIL-4U para salir de estos a una presión de 109 psi para llegar al TK-3U.

En el intercambiador de calor he-3u el agua que llega a este intercambiador entra a 88°F y 60 psi para luego salir de este a 90°F y 37 psi, esta agua es enviada al mismo compresor CM-7U para el intercambiador interno que tiene el compresor, saliendo de este a 110°F y 22 psi y ser enviada al proceso.

***Figura 7. Intercambiadores de calor HE-3U***



Teniendo ya todo el aire en el tanque acumulador TK-3U, se mantiene en las siguientes condiciones durante la toma de estos datos, presión de almacenamiento 7.75 kg/cm<sup>2</sup> y a una temperatura de 30°C.

De aquí este aire es enviado al filtro 7U que esta haciendo las veces de trampa de agua y aceite ya que es posible que haya un arrastre de aceite., de aquí pasa a las torres secadoras de aire, DR-6U (*Figura 8*) y salen de este a 105 psi y luego pasa a los postfiltros FIL-5U y FIL-6U (*Figura 8*) y de aquí sale por la tubería que va al proceso a distribuirlo en los diferentes consumidores de aire, saliendo a una presión de 105 psi y 35°C.

***Figura 8. Tanques secadores DR-6U y postfiltros FIL-5U y FIL-6U***



### 3.2 CONSUMO Y COSTO DE ENERGIA

**3.2.1 Usos inapropiados.** Los diámetros de las fugas detectadas son de 1/ 4" y 3/8", utilizando la tabla 1 tenemos:

1/4" = 6.35 mm y 3/8" = 9.52 mm interpolando obtenemos que:

mm	l/s	m <sup>3</sup> /min	Kw
6.35	48	2.88	15
9,52	97,27	5,84	30,55

El flujo de las fugas detalladas es:

Cant.	Diámetro	m <sup>3</sup> /min	Total
5	1/4"	2.88	14,4 m <sup>3</sup> /min
1	3/8"	5,84	5,84 m <sup>3</sup> /min
			-----
		<b>TOTAL:</b>	<b>20,24 m<sup>3</sup>/min (1214.4 m<sup>3</sup>/h)</b>

Analizando el consumo de energía con un costo de 137 \$ por kw/h tenemos que:

137\$/kw h x 8200 h x 15 kw = **16, 851,000** en pesos por año por cada fuga de 1/4", 5 conexiones detectadas nos daría: **\$84, 255,000**. Luego.

137\$/kwh x 2880 h x 30,55 kw = **\$12, 053, 808** por cada fuga de 3/8", tubería para limpieza con uso intermitente.

Sumando anualmente costaría la cantidad de: **\$96, 308, 808** son noventa y seis millones tres ciento ocho mil ochocientos ocho pesos anuales por estas fugas.

Debido a las diferencias de temperaturas entre la succión del compresor y ambiente de los compresores CM-6U y CM -7U es de 4°C si estos tienen un

consumo de 298.28 kw. (*datos del fabricante*) y el costo del Kwh es de \$137, entonces tenemos que:

$298.28 \text{ kw} \times 137\$ /\text{kw h} \times 8200 \text{ h} (7\text{u}) = \mathbf{\$ 335, 087,752 \text{ anuales}}$

$298.28 \text{ kw} \times 137\$ /\text{kw h} \times 8200 \text{ h} (6\text{u}) = \mathbf{\$ 335, 087,752 \text{ anuales}}$

Un incremento del 1% en la diferencia de temperatura entre la succión del compresor y el medio ambiente representaría **\$3, 350, 877 anuales** por cada compresor resultando un total de: **\$6, 701, 775 anuales.**

**3.2.2 Presión en el sistema de distribución.** Si los compresor consume 400hp = 298.28 kw, (6u y 7u) y 300hp = 223.71 kw (5u) tenemos:

$298.28 \text{ kw} \times 137\$ /\text{kw h} \times 8200 \text{ h} (7\text{u}) = \mathbf{\$ 335, 087,752 \text{ anuales}}$

$298.28 \text{ kw} \times 137\$ /\text{kw h} \times 8200 \text{ h} (6\text{u}) = \mathbf{\$ 335, 087,752 \text{ anuales}}$

Para un total de: **\$ 670, 175, 504**

Un ahorro del 10% compresor, esto seria: **\$ 67, 017, 510** anual siendo este el monto disponible para ahorro.

#### 4. RECOMENDACIONES

- Todo sistema puede presentar picos de demanda que se pueden satisfacer a través de tanques de almacenamiento o tanques pulmón; éstos serán más efectivos si se localizan lo más cerca posible de donde se requieran estas altas demandas. En muchos casos, una evaluación cuidadosa de la demanda del sistema nos puede llevar a una adecuada estrategia de control a través de estos tanques, de tal suerte que podamos reducir la capacidad global del compresor que se vaya a adquirir.
- Las plantas con grandes variaciones de demanda necesitarán de un sistema que opere eficientemente bajo carga parcial; en tales casos, el uso de compresores múltiples con controles secuenciadores de arranque, pueden operar el sistema de forma más económica.
- Un error común es dejar la succión del aire del compresor dentro del cuarto de máquinas, sin tomar en cuenta que éstas generan calor, el cual provoca que la temperatura del aire de succión sea alta, dando como resultado una baja eficiencia del compresor y, por lo tanto, un alto consumo de potencia del mismo. Por ello, se recomienda instalar un ducto de succión de aire fresco exterior, debidamente aislado, ya que se estima que por cada 4° de incremento en la temperatura del aire de succión se incrementará un 1% la energía consumida por el compresor para la misma cantidad de aire comprimido.
- Debido a que la mayoría de las veces las fugas del aire comprimido son imperceptibles, inodoras y prácticamente imposibles de ver, se pueden emplear diferentes métodos para su localización; la mejor forma para detectarlas es mediante la utilización de un detector acústico ultrasónico, el cual puede

reconocer la alta frecuencia de los ruidos y sonidos asociados con las fugas de aire.

- Para limitar las fugas de aire comprimido en las horas de producción, instale válvulas de aislamiento en todos los ramales las cuales, además, nos ayudarán a aislar equipos que no serán utilizados por largo tiempo. Se recomienda utilizar válvulas del tipo bola, ya que son fáciles de abrir y cerrar.

- Antes de incrementar la presión de operación en los puntos de uso, trate primero de reducir la caída de presión del sistema, porque al incrementarla, además de aumentar el consumo de energía, acentuará precisamente los problemas de caídas de presión y de fugas dentro del sistema.

## 5. CONCLUSIONES

- La empresa PETCO SA. Tiene un alto consumo de aire comprimido lo cual presenta una alta oportunidad de ahorro y mejoramiento del mismo en la actualidad la empresa cuenta con las herramientas necesarias y el personal capacitado para el mantenimiento de este sistema, tiene implementado un sistema de control y monitoreo en casi todo el sistema.
- Si la empresa PETCO SA. Si vuelca la mirada a la parte de ahorro energético hallaría que su potencial es elevado debido al sobre dimensionamiento del sistema y por ende mayor consumo energía y gastos en mantenimiento y en ultima la vida útil de los accesorios disminuye.
- El sobredimensionar los compresores de aire es extremadamente ineficiente, porque la mayoría de los sistemas, operando a carga parcial, consumen más energía por unidad de volumen de aire producido. Es preferible comprar varios compresores pequeños con un control secuenciador de arranque, permitiendo así una operación más eficiente cuando la demanda es menor que la demanda pico.
- Si a pesar de que el sistema fue diseñado apropiadamente y recibe un mantenimiento adecuado, sigue experimentado problemas de capacidad, una alternativa, antes de añadir otro compresor, es volver a analizar el uso del aire comprimido en cada una de las áreas de aplicación, ya que tal vez pueda utilizar, de manera más efectiva, sopladores o herramientas eléctricas o, tal vez, simplemente pueda detectar usos inapropiados.

- La empresa cuenta con un programa de incentivos para exponer ideas que lleven a reducciones de energía, pero esto no es suficiente debe contratar consultores en la parte de ahorro y eficiencia energética, divulgar la importancia del ahorro energético dando a conocer cuanto cuesta el mal uso de la energía y capacitar al personal en esta área.



## 6. BIBLIOGRAFIA


- **BRONNER**, M. Compressed Aire Maintenance Service, Festo, Esslingen 2001
- **CROSER**, P.; Ebel, F. Pneumatik, editorial Springer, Berl. Heidelberg 1989
- **DEPERT**, W.; Stoll, K. Pneumatik - Anwendungen, editorial Vogel, Wuzburg, 1990
- **FELDMANN**, K. H.; Moring, W., Stapel, A.G.: Druckluftverteilung in der Praxis. editorial Resch. Greling 1985
- **MARK**, G. Service und Wartung pneumatischer Anlagen, Festo, Esslingen 1987
- **PREDE**, G. Scholz, D.: Elektropneumatik. editorial Springer, Berl. Heidelberg 1998
- **ROTHE**, M. Druckluftherzeugung und –aufbereitung. editorial Vulkan, Essen 2000

# **ANEXOS**

**ANEXO A**


	<b>REPORTE</b>	<b>AIRMaster+</b>
For: PETCO By: CARLOS CEBALLOS		September 20, 2006 Page 1 of 1
<p>Name : PETCO SA. Industry Type : Manufacturing SIC Description : Chemicals and Allied Products Address 1 : MAMONAL K8 Address 2 : City : CARTAGENA State/Zip : CA Contact : CARLOS CONTRERAS Phone : (057) ____-____</p>		

**ANEXO B**


	<b>Utility/Rate Schedule Information Report</b> <b>Current Utility/Rate Schedules</b>	<b>AIRMaster+</b> September 20, 2006 Page 1 of 1
For: PETCO By: CARLOS CEBALLOS		
<b>Utility Name : ELECTROCOSTA</b> Utility Code : 1 Address 1 : Av. PEDRO DE HEREDIA Address 2 : City, State, Zip : CARTAGENA, CA Contact : CARLOS CEBALLOS Phone : (057) ____ - ____		
<b>TARIFA INDUSTRIAL</b>	<b>Season 1</b>	<b>Season 2</b>
Start Month/Day	01/01	07/01
Demand Rate, \$/kW-mo	0.69	0.69
Energy   Block 1	0.05700	0.05700
Rate,   Block 2	0.05500	0.05500
\$/kWh   Block 3	0.05300	0.05300


AIRMaster+		September 20, 2006		Page 1 of 1													
<b>Facility Report</b> <b>Current Facility</b>																	
<b>For: PETCO</b> <b>By: CARLOS CEBALLOS</b>		Facility Name : PETCO SA. Address 1 : MAMONAL K8 Address 2 : City : CARTAGENA State/Zip : CA Contact : CARLOS CONTRERAS Phone : (057) _____ Annual Plant Electrical Use, kWh : 0															
Utility : ELECTROCOSTA Rate Schedule : TARIFA INDUSTRIAL		<table border="0"> <tr> <td>Season 1</td> <td>Season 2</td> </tr> <tr> <td>01/01</td> <td>07/01</td> </tr> <tr> <td>0 . 69</td> <td>0 . 69</td> </tr> <tr> <td>0 . 05700 X</td> <td>0 . 05700 X</td> </tr> <tr> <td>0 . 05500</td> <td>0 . 05500</td> </tr> <tr> <td>0 . 05300</td> <td>0 . 05300</td> </tr> </table>				Season 1	Season 2	01/01	07/01	0 . 69	0 . 69	0 . 05700 X	0 . 05700 X	0 . 05500	0 . 05500	0 . 05300	0 . 05300
Season 1	Season 2																
01/01	07/01																
0 . 69	0 . 69																
0 . 05700 X	0 . 05700 X																
0 . 05500	0 . 05500																
0 . 05300	0 . 05300																
X designates selected rate																	
<b>Compressor Summary</b>																	
System	Model	Manufacturer	Type	Compressor	Type												
RED DE AIRE	400 hp	Sullair Corporati	1 stage lub-inject rot. screw	COMPRESOR1	Load/unload												
	400 hp	Sullair Corporati	1 stage lub-inject rot. screw	COMPRESOR2	Load/unload												
System Totals				106.0	1555.0												
Facility Totals				140.0	1987500												
				3110	800												
				3110.0	800												
					1950000												
					400												
					400												
					1987500												
					400												
					337.0												
					0												
					0												
					229919												
					662.0												
					229919												

**ANEXO D**

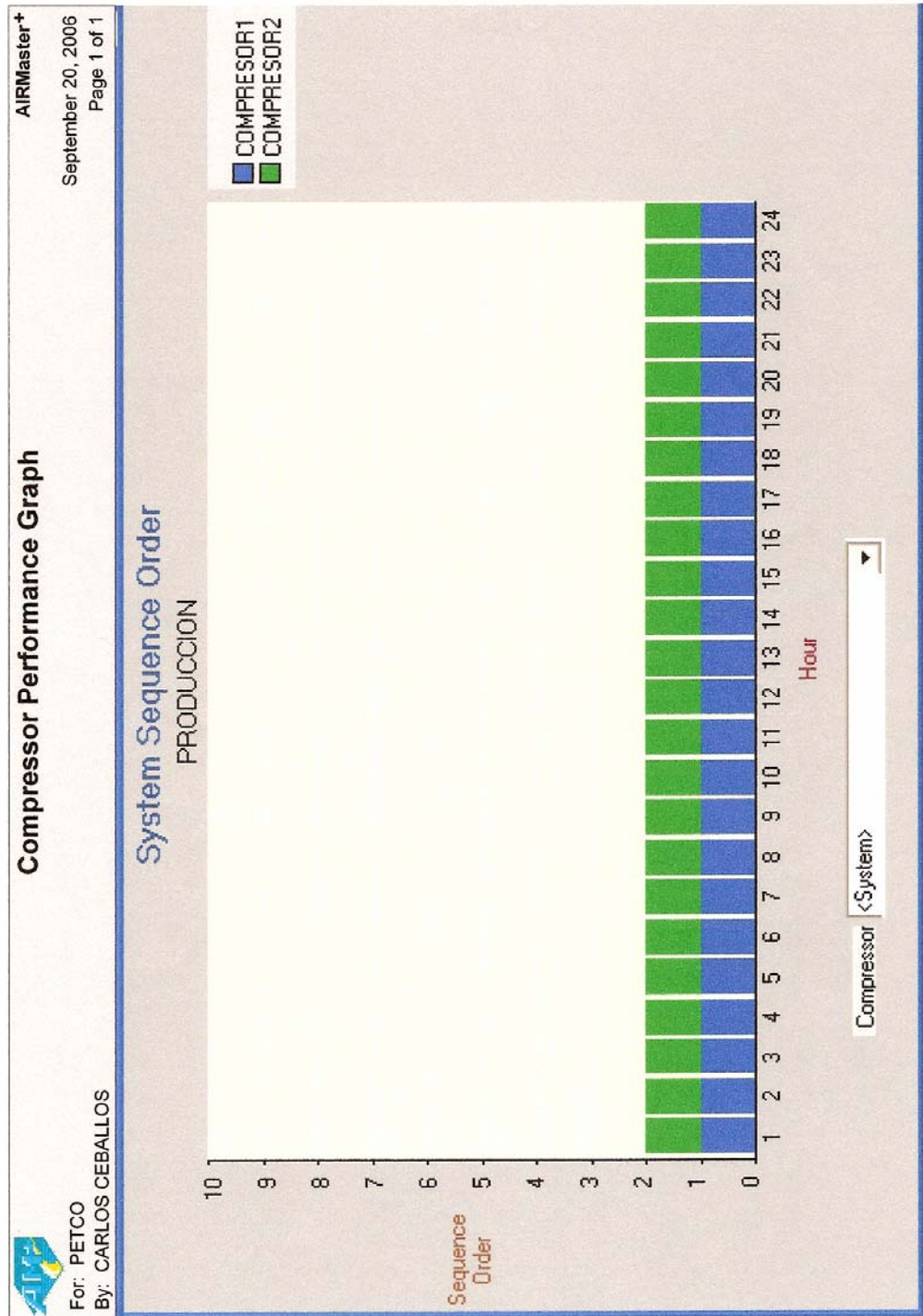
	<h2 style="margin: 0;">Air Systems Report</h2> <h3 style="margin: 0;">Current System</h3>	<b>AIRMaster+</b> September 20, 2006 Page 1 of 1																
For: PETCO By: CARLOS CEBALLOS	Company : PETCO SA. Facility : PETCO SA. System : RED DE AIRE COMPRIMIDO Contact Person : CARLOS CONTRERAS Phone Number : (057) ____-____																	
<p><b>Systems Data</b></p> <p style="text-align: center;">                     Sequencing Type : Cascaded                      Nominal System Pressure, psig : 106                      Airflow Capacity, acfm : 3255.6                      System Elevation, ft. : 32                      Air Storage Capacity, cu ft : 3689                 </p>																		
<p><b>Sequencer Data: Cascade</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Position</th> <th style="text-align: center;">Full Load or Cut-In Pressure, psig</th> <th style="text-align: center;">Max Full Flow or Cut-Out Pressure, psig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Lead</td> <td style="text-align: center;">95.0</td> <td style="text-align: center;">106.0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">60.0</td> <td style="text-align: center;">95.0</td> </tr> </tbody> </table>			Position	Full Load or Cut-In Pressure, psig	Max Full Flow or Cut-Out Pressure, psig	Lead	95.0	106.0	2	60.0	95.0							
Position	Full Load or Cut-In Pressure, psig	Max Full Flow or Cut-Out Pressure, psig																
Lead	95.0	106.0																
2	60.0	95.0																
<p><b>Daytype Information</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Daytype Description</th> <th style="text-align: center;">Operating Days Season 1</th> <th style="text-align: center;">Operating Days Season 2</th> <th style="text-align: right;">Season 1 Demand Months : 6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">PRODUCCIO</td> <td style="text-align: center;">150</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: right;">Season 2 Demand Months : 6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">FIN DE SEMA</td> <td style="text-align: center;">35</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: right;">Total Annual Days : 300</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: right;">Total Down Days : 65</td> </tr> </tbody> </table>			Daytype Description	Operating Days Season 1	Operating Days Season 2	Season 1 Demand Months : 6	PRODUCCIO	150	100	Season 2 Demand Months : 6	FIN DE SEMA	35	15	Total Annual Days : 300				Total Down Days : 65
Daytype Description	Operating Days Season 1	Operating Days Season 2	Season 1 Demand Months : 6															
PRODUCCIO	150	100	Season 2 Demand Months : 6															
FIN DE SEMA	35	15	Total Annual Days : 300															
			Total Down Days : 65															

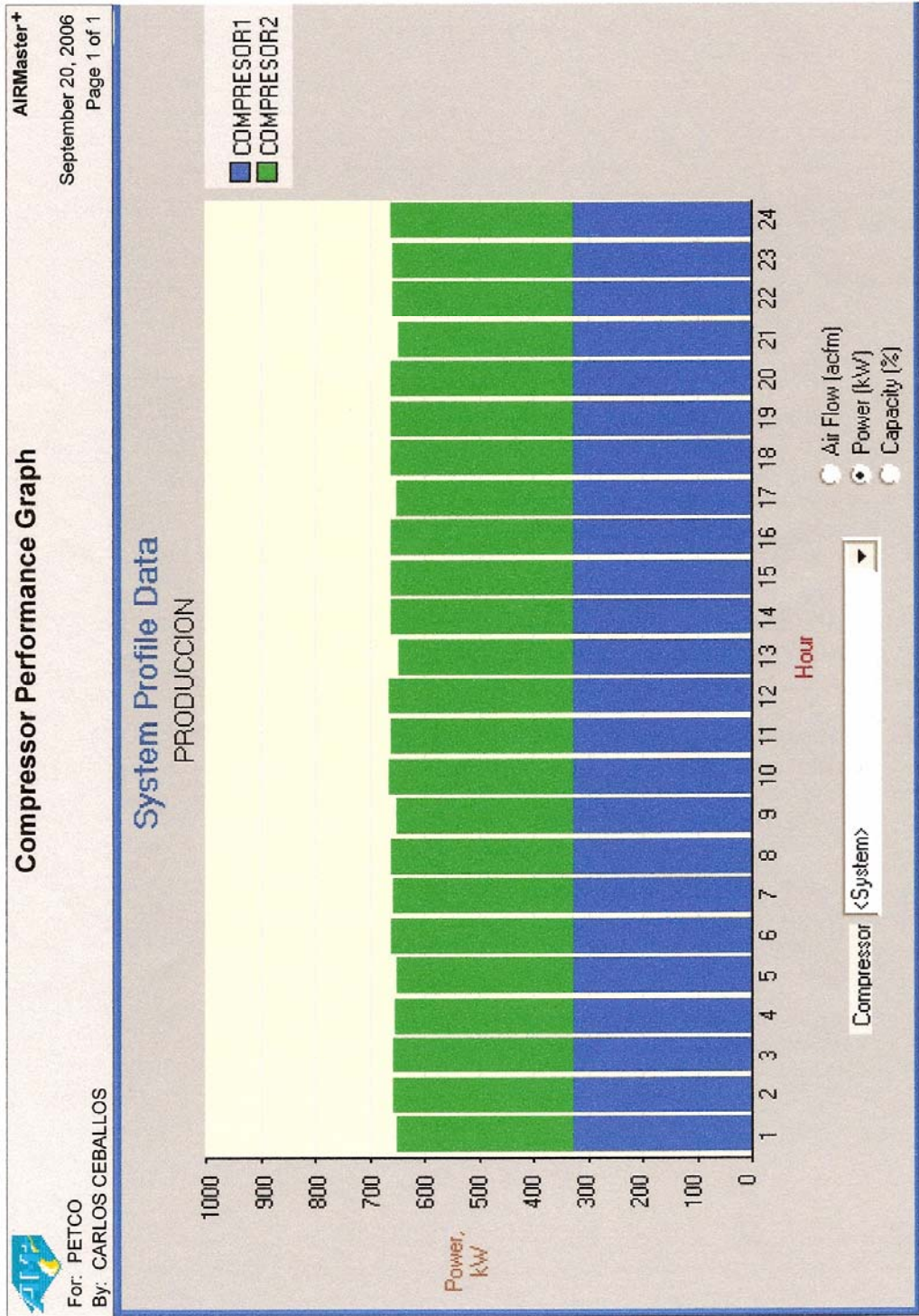
ANEXO E

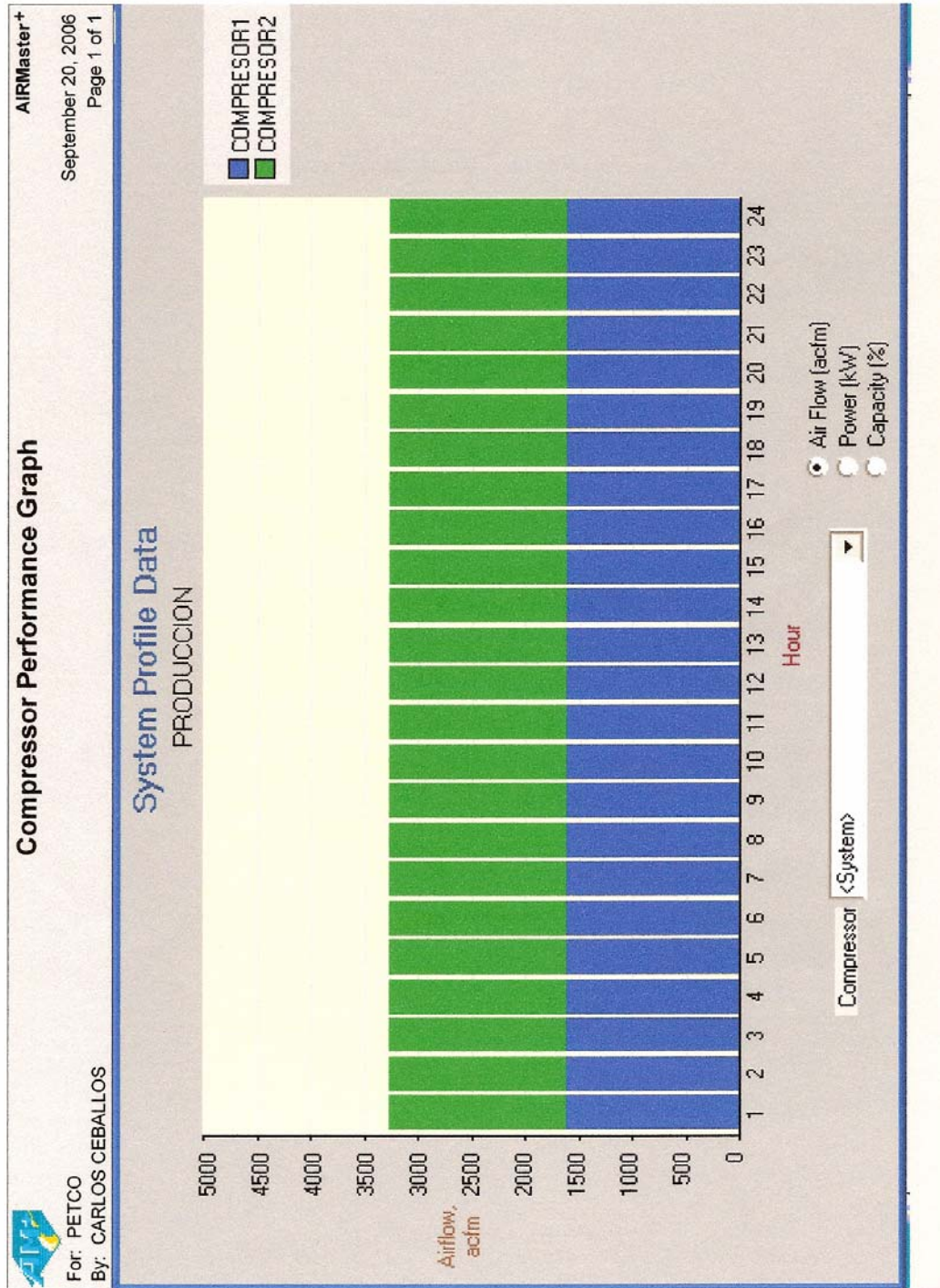
		<b>Compressor Inventory Report</b> <b>Current Compressor Summary</b>				<b>AIRMaster+</b> September 20, 2006 Page 1 of 1																																		
For: PETCO By: CARLOS CEBALLOS		Facility : PETCO SA. System : RED DE AIRE COMPRIMIDO Compressor : COMPRESOR1 User-assigned ID : A1		System Discharge Control Range : 60.0 - 106.0 psig Service Status : Sequencing : Used Automatic Shutdown Timer : Not Used																																				
<b>Nameplate Information</b>		Compressor type : Single stage lubricant-injected rotary screw Manufacturer : Sullair Corporation Model : 400 hp Horsepower Rating : 400 Full load operating pressure, psig : 150 Rated capacity @ full load operating pressure, acfm : 1555 Serial # : 003-106992/003-106993 Installation date : 9/20/2006 Compressor location : 1																																						
<b>Control Information</b>		Control type : Load/unload  After Cooling info Cooling type : Water cooled		Unloading Controls Unload point, %Capacity : 100 # of unload steps : 2 Unloaded sump pressure, psig : 15.0 Automatic shutdown timer : No																																				
<b>Performance</b>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Performance Point</th> <th>Discharge Pressure, psig</th> <th>Airflow, acfm</th> <th>Power, kW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Full load (cut-in)</td> <td>95.0</td> <td>1567.8</td> <td>311.8</td> </tr> <tr> <td>Max full flow (cut-out)</td> <td>106.0</td> <td>1554.8</td> <td>331.5</td> </tr> <tr> <td>No load (unloaded)</td> <td>15.0</td> <td>0.0</td> <td>46.0</td> </tr> </tbody> </table>				Performance Point	Discharge Pressure, psig	Airflow, acfm	Power, kW	Full load (cut-in)	95.0	1567.8	311.8	Max full flow (cut-out)	106.0	1554.8	331.5	No load (unloaded)	15.0	0.0	46.0	Inlet Conditions Avg. temperature, °F : 85 Atmos. pressure, psia : 14.7 Blowdown time, sec. : 40																		
Performance Point	Discharge Pressure, psig	Airflow, acfm	Power, kW																																					
Full load (cut-in)	95.0	1567.8	311.8																																					
Max full flow (cut-out)	106.0	1554.8	331.5																																					
No load (unloaded)	15.0	0.0	46.0																																					
<b>Totals</b>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Daytype</th> <th>Total OpHrs</th> <th>Avg Air flow, acfm</th> <th>Avg Air flow, %C</th> <th>Peak Demand, kW</th> <th>Load Factor, %</th> <th>Annual Energy, kWh</th> <th>Annual Energy Cost, \$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PRODUCCION</td> <td>6,000</td> <td>1607</td> <td>100.0</td> <td>325.0</td> <td>121.1</td> <td>1,950,000</td> <td>111,150</td> </tr> <tr> <td>FIN DE SEMANA</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td><b>Compressor Totals</b></td> <td><b>6,000</b></td> <td><b>1607</b></td> <td><b>102.5</b></td> <td><b>325.0</b></td> <td><b>104.2</b></td> <td><b>1,950,000</b></td> <td><b>111,150</b></td> </tr> </tbody> </table>							Daytype	Total OpHrs	Avg Air flow, acfm	Avg Air flow, %C	Peak Demand, kW	Load Factor, %	Annual Energy, kWh	Annual Energy Cost, \$	PRODUCCION	6,000	1607	100.0	325.0	121.1	1,950,000	111,150	FIN DE SEMANA	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	<b>Compressor Totals</b>	<b>6,000</b>	<b>1607</b>	<b>102.5</b>	<b>325.0</b>	<b>104.2</b>	<b>1,950,000</b>	<b>111,150</b>
Daytype	Total OpHrs	Avg Air flow, acfm	Avg Air flow, %C	Peak Demand, kW	Load Factor, %	Annual Energy, kWh	Annual Energy Cost, \$																																	
PRODUCCION	6,000	1607	100.0	325.0	121.1	1,950,000	111,150																																	
FIN DE SEMANA	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0																																	
<b>Compressor Totals</b>	<b>6,000</b>	<b>1607</b>	<b>102.5</b>	<b>325.0</b>	<b>104.2</b>	<b>1,950,000</b>	<b>111,150</b>																																	

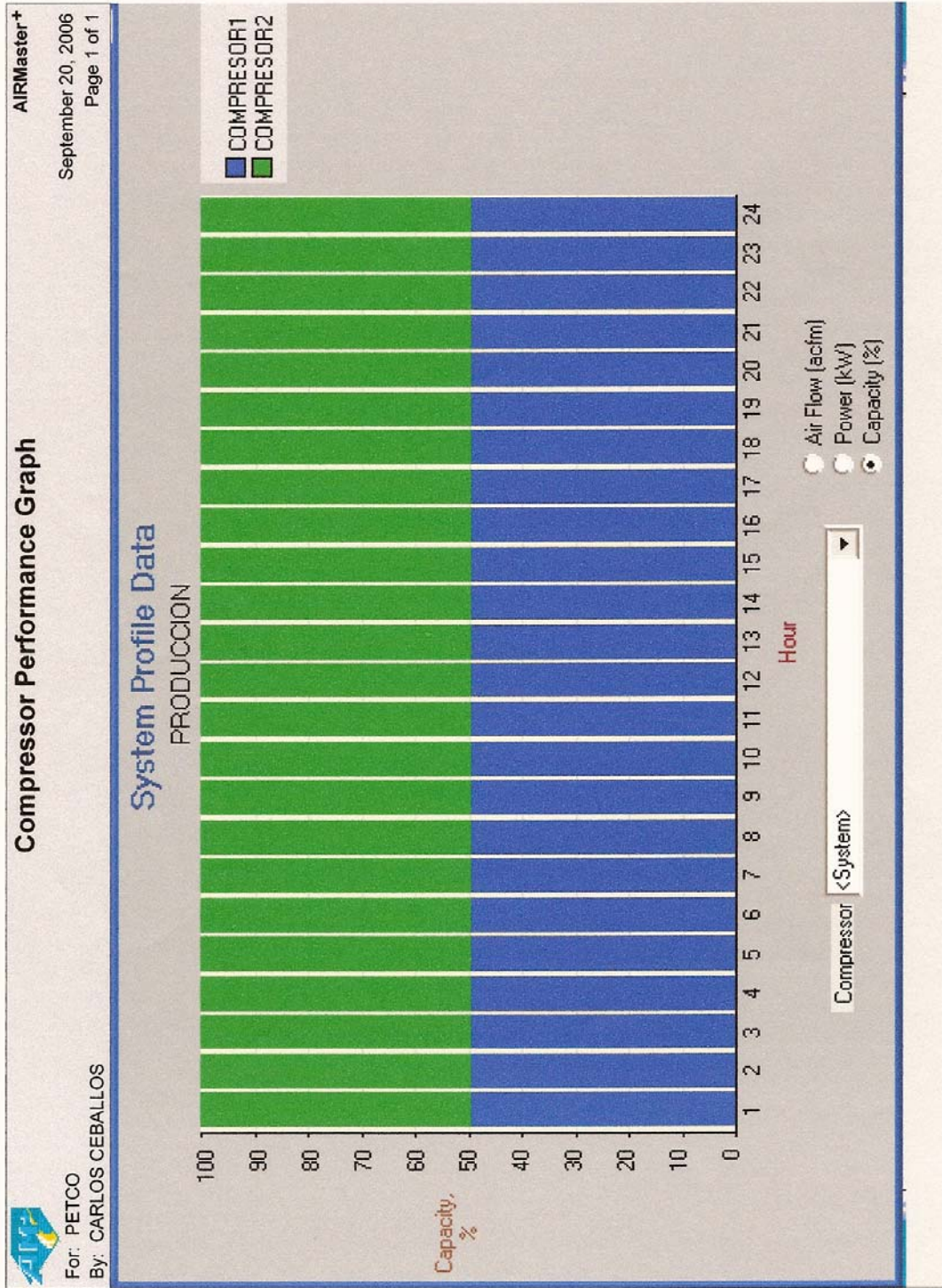
 <b>System Profile Report</b> <b>Current Daytype Profile</b>		<b>AIRMaster+</b> September 20, 2006 Page 1 of 2
For: PETCO By: CARLOS CEBALLOS		
Facility : PETCO SA. System : RED DE AIRE COMPRIMIDO System Pressure Control Range : 60.0 - 106.0 psig Daytype : PRODUCCIO		
<b>Data Entry</b>		
<i>Sequencing Order</i>		
Compressor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	
COMPRESOR1	1 1	1 1
COMPRESOR2	2 2	2 2
<i>Profile Data Type: Power, kW</i>		
Compressor Units	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	
COMPRESOR1 kW	325 325	325 325
COMPRESOR2 kW	324 333 332 328 324 334 332 336 324 337 335 337 320 335 335 335 323 336 336 336 336 322 331 334	324 333 332 328 324 334 332 336 324 337 335 337 320 335 335 335 323 336 336 336 336 322 331 334
<b>Profile Summary</b>		
COMPRESOR1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	
Meas Power, kW	325 325	325 325
Calc Airflow, acfm	1607 1607	1607 1607
Calc % Capacity	100 100	100 100
Sequence #	1 1	1 1
COMPRESOR2	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	
Meas Power, kW	324 333 332 328 324 334 332 336 324 337 335 337 320 335 335 335 323 336 336 336 336 322 331 334	324 333 332 328 324 334 332 336 324 337 335 337 320 335 335 335 323 336 336 336 336 322 331 334
Calc Airflow, acfm	1648 1648	1648 1648
Calc % Capacity	100 100	100 100
Sequence #	2 2	2 2
Totals	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	
Total Power, kW	649 658 657 653 649 659 657 661 649 662 660 662 645 660 660 660 648 661 661 661 647 656 656 659	649 658 657 653 649 659 657 661 649 662 660 662 645 660 660 660 648 661 661 661 647 656 656 659
Total Airflow, acfm	3256 3256	3256 3256
% System Capacity	100 100	100 100













Energy Efficiency Measure Parameters Report										AIRMaster+
Savings Summary										September 20, 2006
For: PETCO										Page 1 of 1
By: CARLOS CEBALLOS										
Facility : RED DE AIRE COMPRIMIDO										
System : PETCO SA.										
EEM Scenario : ESCENARIO 1										
Savings Summary										
Description	Energy Savings, kWh	Energy Savings, \$	Energy Savings, %	Demand Savings, kW	Demand Savings, \$	Installed Cost, \$	Total Savings, \$	Simple Payback, years		
Reduce Air Leaks	2,215,850	126,303	56.3	375.1	3,105	0	129,409	0.0		
Improve End Use Efficiency #1	0	0	0.0	0.0	0	0	0	N/A		
Reduce System Air Pressure	29,478	1,680	0.7	4.9	41	0	1,721	0.0		
Use Unloading Controls	0	0	0.0	0.0	0	0	0	N/A		
Use Automatic Sequencer	0	0	0.0	0.0	0	0	0	N/A		
Reduce Run Time	0	0	0.0	0.0	0	0	0	N/A		
Add Primary Receiver Volume	0	0	0.0	0.0	0	0	0	N/A		
<b>TOTALS</b>	<b>2,245,328</b>	<b>127,984</b>	<b>57.0</b>	<b>380.0</b>	<b>3,146</b>	<b>0</b>	<b>131,130</b>	<b>0.0</b>		

ANEXO L

		<b>Energy Efficiency Measure Parameters Report</b> <b>Use Unloading Controls</b>	<b>AIRMaster<sup>+</sup></b> September 20, 2006 Page 1 of 2																																																						
For: PETCO By: CARLOS CEBALLOS																																																									
EEM Scenario : ESCENARIO 1 Facility : PETCO SA. System : RED DE AIRE COMPRIMIDO		Description : Use Unloading Controls Measure cost : \$ 0																																																							
<p><b>Compressor Operations</b></p> <p><b>COMPRESOR1</b>  <i>Existing</i>                      Control Type: Load/unload</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Performance Point</th> <th>Discharge Pressure, psig</th> <th>Airflow, acfm</th> <th>Power, kW</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Full load (cut-in)</td> <td>84.0</td> <td>1620.7</td> <td>250.0</td> <td rowspan="3">                             Unload point, %C : 100                              Automatic Shutdown timer : No                         </td> </tr> <tr> <td>Max full flow (cut-out)</td> <td>95.0</td> <td>1607.3</td> <td>268.3</td> </tr> <tr> <td>No load (unloaded)</td> <td>15.0</td> <td>0.0</td> <td>46.0</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Proposed</i>                      Control Type: Load/unload</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Performance Point</th> <th>Discharge Pressure, psig</th> <th>Airflow, acfm</th> <th>Power, kW</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Full load (cut-in)</td> <td>84.0</td> <td>1620.7</td> <td>250.0</td> <td rowspan="3">                             Unload point, %C : 100                              Automatic Shutdown timer : No                         </td> </tr> <tr> <td>Max full flow (cut-out)</td> <td>95.0</td> <td>1607.3</td> <td>268.3</td> </tr> <tr> <td>No load (unloaded)</td> <td>15.0</td> <td>0.0</td> <td>46.0</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>COMPRESOR2</b>  <i>Existing</i>                      Control Type: Load/unload</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Performance Point</th> <th>Discharge Pressure, psig</th> <th>Airflow, acfm</th> <th>Power, kW</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Full load (cut-in)</td> <td>49.0</td> <td>1661.8</td> <td>180.1</td> <td rowspan="3">                             Unload point, %C : 100                              Automatic Shutdown timer : No                         </td> </tr> <tr> <td>Max full flow (cut-out)</td> <td>95.0</td> <td>1604.5</td> <td>268.4</td> </tr> <tr> <td>No load (unloaded)</td> <td>15.0</td> <td>0.0</td> <td>46.0</td> </tr> </tbody> </table>				Performance Point	Discharge Pressure, psig	Airflow, acfm	Power, kW		Full load (cut-in)	84.0	1620.7	250.0	Unload point, %C : 100 Automatic Shutdown timer : No	Max full flow (cut-out)	95.0	1607.3	268.3	No load (unloaded)	15.0	0.0	46.0	Performance Point	Discharge Pressure, psig	Airflow, acfm	Power, kW		Full load (cut-in)	84.0	1620.7	250.0	Unload point, %C : 100 Automatic Shutdown timer : No	Max full flow (cut-out)	95.0	1607.3	268.3	No load (unloaded)	15.0	0.0	46.0	Performance Point	Discharge Pressure, psig	Airflow, acfm	Power, kW		Full load (cut-in)	49.0	1661.8	180.1	Unload point, %C : 100 Automatic Shutdown timer : No	Max full flow (cut-out)	95.0	1604.5	268.4	No load (unloaded)	15.0	0.0	46.0
Performance Point	Discharge Pressure, psig	Airflow, acfm	Power, kW																																																						
Full load (cut-in)	84.0	1620.7	250.0	Unload point, %C : 100 Automatic Shutdown timer : No																																																					
Max full flow (cut-out)	95.0	1607.3	268.3																																																						
No load (unloaded)	15.0	0.0	46.0																																																						
Performance Point	Discharge Pressure, psig	Airflow, acfm	Power, kW																																																						
Full load (cut-in)	84.0	1620.7	250.0	Unload point, %C : 100 Automatic Shutdown timer : No																																																					
Max full flow (cut-out)	95.0	1607.3	268.3																																																						
No load (unloaded)	15.0	0.0	46.0																																																						
Performance Point	Discharge Pressure, psig	Airflow, acfm	Power, kW																																																						
Full load (cut-in)	49.0	1661.8	180.1	Unload point, %C : 100 Automatic Shutdown timer : No																																																					
Max full flow (cut-out)	95.0	1604.5	268.4																																																						
No load (unloaded)	15.0	0.0	46.0																																																						

**ANEXO M**

 <b>Energy Efficiency Measure Parameters Report</b>		AIRMaster+															
<b>Reduce Air Leaks</b>		September 20, 2006															
For: PETCO		Page 1 of 1															
By: CARLOS CEBALLOS																	
EEM Scenario : ESCENARIO 1 Facility : PETCO SA. System : RED DE AIRE COMPRIMIDO Measured data : Airflow, acfm		Description : Reduce Air Leaks Measure cost : \$ 0															
<p><b>Compressor Operations to Feed Leaks</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Compressor</th> <th>Units</th> <th>Airflow</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>COMPRESOR1</td> <td>acfm</td> <td>2219</td> </tr> <tr> <td>COMPRESOR2</td> <td>acfm</td> <td>2219</td> </tr> </tbody> </table> <p>Lowest hourly system airflow, acfm : 3256</p>			Compressor	Units	Airflow	COMPRESOR1	acfm	2219	COMPRESOR2	acfm	2219						
Compressor	Units	Airflow															
COMPRESOR1	acfm	2219															
COMPRESOR2	acfm	2219															
<p><b>Leak Airflow Values</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Leaks, acfm</th> <th>% System Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peak system requirement + Leaks</td> <td>3256</td> <td>100.0</td> </tr> <tr> <td>Leaks</td> <td>3256</td> <td>100.0</td> </tr> <tr> <td>Peak system requirement</td> <td>0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Reduce leaks by</td> <td>1628 acfm</td> <td>50.0 %</td> </tr> </tbody> </table>				Leaks, acfm	% System Total	Peak system requirement + Leaks	3256	100.0	Leaks	3256	100.0	Peak system requirement	0	0.0	Reduce leaks by	1628 acfm	50.0 %
	Leaks, acfm	% System Total															
Peak system requirement + Leaks	3256	100.0															
Leaks	3256	100.0															
Peak system requirement	0	0.0															
Reduce leaks by	1628 acfm	50.0 %															

