

Eficiencia energética en sistema de aire comprimido

Energy efficiency in compressed air systems

Luis Antonio Valle Vega¹, Mario Andrés Madrid Celi², Juan José Valle Vega¹, Verónica Cristina Andrade Yucailla³

¹Investigador independiente, Ecuador

²Hospitalde del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, Machala – Ecuador

³Universidad Estatal Península de Santa Elena, Santa Elena – Ecuador

Correo de correspondencia: lvantoniovalle@gmail.com, mariomadridc25@gmail.com, juanvalle99@hotmail.com, vandrade@upse.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
28/10/2024

Aceptado:
11/12/2024

Publicado:
16/01/2025

Revista:
DATEH



Resumen

La presente investigación se llevó a cabo en la ciudad de Riobamba a una altitud de 2750 msnm, latitud 1°40'28"S 78°38'54"O y una presión atmosférica de 0,757kg/cm². El objetivo general planteado es analizar las consecuencias de la presencia de fugas en sistema de aire comprimido mediante la utilización de la técnica de ultrasonido pasivo. Se construyó un módulo que simula un sistema de aire comprimido en el cual se provocaron fugas por medio de orificios con diferentes diámetros. El módulo de pruebas cuenta con tuberías de ½ pulgada e instrumentos de medida de presión, caudal, control de paso de flujo, pistón neumático, balanza, compresor. En cada fuga se obtuvo datos de decibeles, caudal de aire, pérdida de presión, pérdidas energéticas, pérdidas económicas. Con los datos registrados por cada uno de los equipos de medición se procedió a establecer gráficas relacionando parámetros de presión, caudal, decibeles, Kw/hora y mediante regresión polinómica se ajustaron los valores obtenidos a una recta de la cual se obtuvo una ecuación que permitirá establecer el perjuicio económico que representará para un sistema la presencia de fugas de aire en sus instalaciones, esto con el dato de decibeles obtenido en un equipo de ultrasonido pasivo.

Palabras clave: Eficiencia energética, energía, compresor, costos.

Abstract

The present investigation was carried out in the city of Riobamba at an altitude of 2750 masl, latitude 1°40'28"S 78°38'54"W and an atmospheric pressure of 0.757kg/cm². The general objective is to analyze the consequences of the presence of leaks in compressed air systems using the passive ultrasound technique. A module was built to simulate a compressed air system in which leaks were provoked by means of orifices with different diameters. The test module has ½ inch pipes and instruments for measuring pressure, flow rate, flow control, pneumatic piston, balance, compressor. For each leak, data was obtained on decibels, air flow, pressure loss, energy loss and economic loss. With the data recorded by each of the measuring equipment, we proceeded to establish graphs relating parameters of pressure, flow, decibels, Kw/hour and by means of polynomial regression we adjusted the values obtained to a straight line from which we obtained an equation that will allow us to establish the economic damage that the presence of air leaks will represent for a system in its facilities, this with the decibel data obtained in a passive ultrasound equipment.

Keywords: Energy efficiency, energy, compressor, costs.

Forma sugerida de citar (APA): López-Rodríguez, C. E., Sotelo-Muñoz, J. K., Muñoz-Venegas, I. J. y López-Aguas, N. F. (2024). Análisis de la multidimensionalidad del brand equity para el sector bancario: un estudio en la generación Z. Retos Revista de Ciencias de la Administración y Economía, 14(27), 9-20. <https://doi.org/10.17163/ret.n27.2024.01>.

INTRODUCCIÓN

En una instalación de aire comprimido, la localización y reparación de las fugas tiene una elevada importancia, ya que, de la energía consumida por los compresores, únicamente un 10% - 15% dependiendo de la eficiencia del compresor se emplea. (Eurocontrol, 2018)

El momento en que una fuga pasa a considerarse una pérdida depende de la relación respecto al consumo total. Las fugas grandes y ruidosas son muy costosas y deben repararse inmediatamente. Las fugas pequeñas y moderadas (agujeros de menos de 0,5mm de diámetro), se

pueden detectar fácilmente con un detector de fugas profesional y deben repararse lo antes posible. (Billep, Service, & FEsto AG & Co. Kg, 2013)

Las fugas se presentan con frecuencia en la mayoría de las plantas industriales o contextos operacionales, el operario en muchas de las veces no brinda la importancia debida a la presencia de las mismas por el hecho equivocado de pensar que lo que se fuga es simplemente aire y que no tiene valor representativo producto de su desperdicio.

En la mayoría de las plantas industriales los principales consumidores de energía son los compresores de aire y por ende la presencia de fugas representan un elevado costo debido a los ciclos repetitivos innecesarios de encendido y apagado.

Generalmente se suele pensar que las fugas de aire comprimido no representan un perjuicio económico, esto al bajo valor del kW-h, pero si se realiza un análisis profundo relacionando el valor del kW-h desperdiciado durante un día y esto sumarle el valor desperdiciado durante un mes y proyectarlo para un año se obtendrá valores representativos y perjudiciales para la economía de una organización.

Dentro de las diferentes técnicas de diagnóstico que se presentan el área del mantenimiento predictivo se encuentra el ultrasonido pasivo, técnica que es de gran ayuda en cuanto a la detección de fugas en sistemas de aire comprimido se refiere.

Como resultado final de la presente investigación se establecerá un modelo matemático que permita ingresar datos de los decibeles obtenidos de la fuga con el empleo del Equipo ULTRAPROBE 15000, y como resultado final obtener el costo económico que genera dicha fuga analizada; con la finalidad de tener un estimado del costo real que están generando la presencia de fugas de aire comprimido en un sistema y de esta manera diseñar estrategias de corrección y control adecuado.

Las fugas representan una importante pérdida de energía en un sistema de aire comprimido alcanzando en ocasiones un valor del 30% del caudal total del compresor, por otro lado, en un sistema de aire comprimido que presente fugas se puede suscitar un sinnúmero de problemas que a continuación se detallan.

- Cambios de presión en el sistema teniendo como consecuencia que las herramientas neumáticas accionadas por aire comprimido presenten un rendimiento ineficiente en cuanto al resultado final de su utilización

- Aumento de los costos en la producción de aire comprimido.
- Disminución de la vida útil del compresor y los sistemas
- Aumento de los costos de mantenimiento debido a los ciclos de encendido y apagado innecesarios del compresor a causa de las fugas presentes en el sistema.

Los sitios más frecuentes en donde se presentan las fugas dentro de una instalación son los siguientes: uniones de accesorios y tuberías, mangueras, puntos de conexión de unidades de mantenimiento, puntos de evacuación de condensados, unión entre el sistema de distribución de aire y el equipo o herramienta a utilizarse. (Air solutions Audits)

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedimiento. Las pruebas tuvieron lugar a una altitud de 2750 msnm, latitud de 1040'28''S 78038'54''O y una presión atmosférica de 0,757 kg/cm². Para la adquisición de datos se realizó el procedimiento siguiente:

1. Se constato que las válvulas se encuentren completamente cerradas para adquirir datos sin la presencia de fugas en el sistema.
2. En cada punto de fuga se procedió a la realización de 5 mediciones, esto con la finalidad de contar con mayor precisión en la medida realizada.
3. Se calibró la presión del sistema a 6 bares y bajo esta medida de presión se realizó todas las mediciones.
4. Se realizó un barrido con el equipo de ultrasonido pasivo ULTRAPROBE 1500 por todo el sistema comprobando que no existían fugas, al bajar el pistón se obtuvo una fuerza de 105,30 kg en todas las pruebas, las frecuencias y decibeles tuvieron un valor de cero.
5. Seguidamente se procedió a la apertura de la llave en la fuga de 1,5mm, donde se observó que el flujómetro marco un caudal de aire de 27,5 l/min, descendió el pistón y se pudo observar la fuerza, se procedió a medir con el equipo de ultrasonido pasivo las frecuencias y los decibeles. Este mismo proceso se repitió en cada punto de fuga para la adquisición de todos los datos.
6. Con el equipo ULTRAPROBE 15000 paralelamente a la toma de datos de la balanza, se procedió a la adquisición de datos de decibeles que provoca cada una de las fugas con distinto diámetro y así tener una relación entre pérdida de presión y decibeles con cada uno de los diámetros de fuga.

7. Para obtener la potencia que requiere el compresor en cada fuga de aire comprimido se empleó el equipo de análisis de la calidad de la energía FLUKE 435 SERIE II. Se realizó una medición de 30 minutos en cada fuga, donde se tomó datos del tiempo que tarda en descargarse y los ciclos de encendido y apagado del compresor.
8. Con el software UE SPECTRALYZER se descargó las mediciones tomadas con el equipo de ultrasonido ULTRAPROBE 15000 y se observó los decibeles, las frecuencias y el primer armónico en cada fuga.
9. Con el software POWER LOG, se descargó los datos obtenidos con el analizador de calidad de la energía FLUKE 433 SERIES II.
10. Con los datos adquiridos se realizaron los cálculos matemáticos con el fin de determinar la presión del sistema. Este procedimiento se realizó tomando como referencia el peso de la balanza producto del contacto de esta con el pistón neumático instalado como consumidor del sistema. A medida que se realizó las pruebas se pudo observar el cambio considerable del dato adquirido en la balanza conforme al diámetro de fuga analizado.

Materiales. Para la adquisición de datos y posterior análisis se procedió a construir un módulo el cual conto con los siguientes elementos.

- Balanza Digital
- Pistón neumático.
- Tubería.
- Accesorios. (Tapones, codos, manómetro)
- Compresor
- Válvula de accionamiento manual
- Flujómetro
- Equipo de ultrasonido ULTRAPROBE 15000.
- Equipo analizado de calidad de la energía FLUKE 435 SERIE II

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medición de pérdidas de presión: Por medio de la balanza que se colocó en el módulo de pruebas se observó cual es la fuerza inicial del pistón (sistema sin fugas) y la fuerza final (sistema con fugas), en cada uno de los diámetros de fuga establecidos. Al momento del descenso del vástago del pistón este presiona la balanza, obteniendo el valor de la fuerza ejercida, se realizaron cinco mediciones para obtener una media que brinde exactitud a las mediciones realizadas.

Fuga (mm)	Nro. de medición	Fuerza (kg)
-----------	------------------	-------------

0	1	105,30
0	2	105,30
0	3	105,30
0	4	105,30
0	5	105,30
TOTAL		105,30

Tabla 1. Fuerza del pistón sin presencia de fugas

$$A = 2 * \pi * r * h$$

$$A = 2 * 3,1416 * 3,75 \text{ cm} * 3 \text{ cm}$$

Se obtuvo un contacto adecuado en la balanza colocando un acrílico de forma cilíndrica con un diámetro de 7,5cm y una altura de 3cm, el cual nos sirvió para calcular el área sobre el cual impacta el vástago del pistón.

$$A = 70,69 \text{ cm}^2 \text{ ó } 0,0071 \text{ m}^2$$

Donde:

r: Radio del cilindro.

h: Altura del cilindro

Con el área obtenida, se procedió a demostrar cuál es la presión que existe en el sistema sin ninguna fuga.

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{105,30 \text{ kg}}{70,69 \text{ cm}^2}$$

$$P = 1,49 \text{ bar} \text{ ó } 149000 \text{ Pa}$$

Donde:

F: fuerza del pistón. Dato obtenido del Tabla 1

h: Área de cilindro de acrílico.

Una vez que se obtuvo la presión inicial se procedió a obtener los datos con los diámetros de fugas establecidos. En el Tabla 2 se muestran las medidas una vez que se han sido procesadas las 5 mediciones para cada parámetro.

Diámetro de fuga (mm)	Fuerza (kg)	Volumen de aire (l/min)	Frecuencia (kHz)	Presión (Bar)	Decibeles
0	105,30	0,00	0,00	6	0
1,0	104,98	10,00	0,65	1,485	-17,29
1,5	104,70	29,00	0,70	1,481	-17,53
2,0	99,24	32,50	1,01	1,40	-17,57
2,5	60,92	24,00	1,11	0,86	-17,88
3,0	27,28	35,00	1,23	0,39	-19,00

Tabla 2. Datos obtenidos con todos los diámetros de fuga.

Para obtener los datos sobre el consumo energético y las pérdidas económicas producto de la presencia de fugas en el sistema se instaló el equipo Analizador de la calidad de la energía FLUKE 435 SERIE II y se procedió a la toma de datos con cada uno de los diámetros de fuga. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 3.

Diámetro de fuga (mm)	Potencia requerida (kW)	Tiempo de descarga (s)	Ciclos
0	0,00	0,00	0
1,0	0,7668	91	5
1,5	0,9317	32	6
2,0	0,9337	24	7
2,5	0,9492	18	8
3,0	0,9658	17	8

Tabla 3. Potencia requerida para la compresión.

Con los datos obtenidos aplicamos la siguiente fórmula:

$$P_f = P_{req} \times C_{kW/h} \times H_{trab} \text{ (SMC International Training)}$$

Donde:

P_f : Pérdida por fugas (USD)

P_{req} : Potencia requerida (kW/h)

$C_{kW/h}$: Costo del kW/h

H_{trab} : Horas de trabajo del compresor al año

Como ejemplo escogemos los datos de la tabla II de la fuga de 3,0 mm de la cual se obtuvo como potencia 0,9658 kW, el cálculo se lo realiza con un costo del KW-H de 0,10 USD y 8760 horas de funcionamiento del compresor.

Los datos obtenidos reemplazamos en la ecuación citada y obtenemos como pérdidas un total de 846 USD que se estarían perdiendo anualmente con la presencia de la fuga analizada.

A continuación, se muestra la gráfica que relaciona la presión del consumidor (pistón) con el diámetro de fugas.

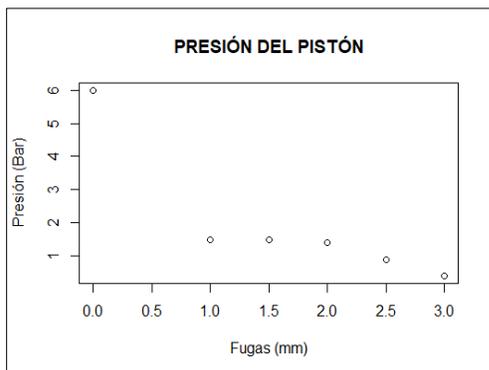


Figura 1. Relación de la presión del pistón con el diámetro de fuga.

Se muestra también la gráfica del Caudal de aire que relaciona el volumen de aire que se necesita en el sistema con la presencia de las fugas establecidas para el estudio.

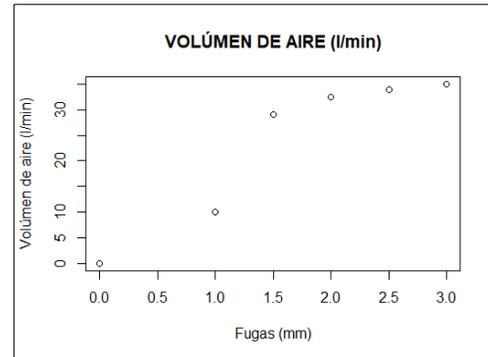


Figura 2. Volumen de aire que se pierde debido a la presencia de fugas en el sistema.

En el desarrollo de la investigación se obtuvo también la gráfica que relaciona las fugas con la amplitud de onda de ultrasonido, esto se muestra a continuación.

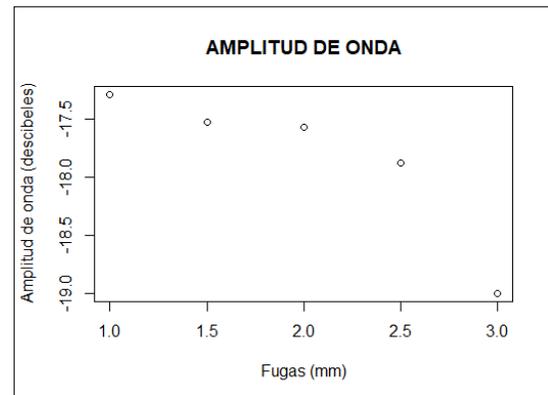


Figura 3. Amplitud de onda de ultrasonido en cada una de las fugas

El espectro de ultrasonido de muestra en la siguiente gráfica, en donde se puede observar que el diámetro de fuga y la frecuencia son directamente proporcionales, es decir, que a mayor diámetro de fuga mayor es la frecuencia.

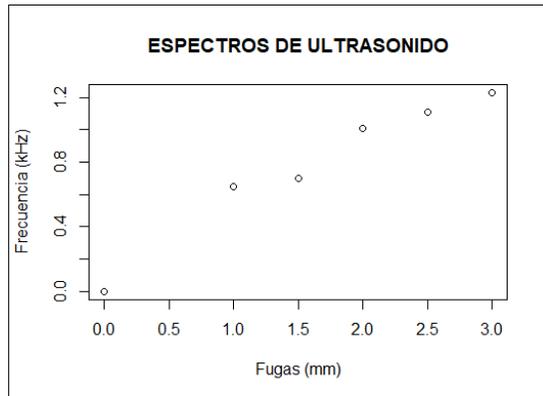


Figura 4. Espectro de ultrasonido de cada una de las fugas.

Seguidamente se muestra la gráfica de Potencia requerida para el funcionamiento del compresor con cada uno de los diámetros de fuga establecidos para el estudio.

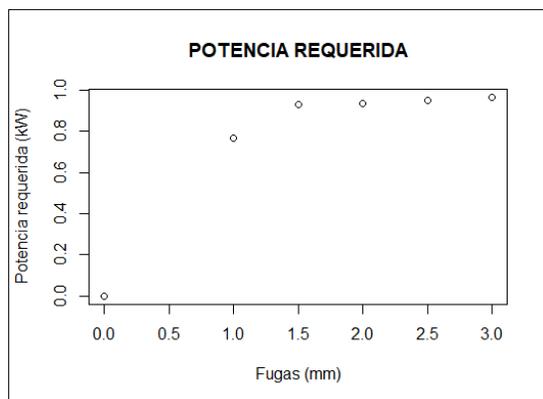


Figura 5. Potencia eléctrica requerida para cada una de las fugas.

Una vez estructurado el diagnóstico de las fugas y relacionado el análisis tanto con el equipo ULTRAPROBE 15000 y el equipo analizador de la calidad de la energía FLUKE 435 Serie II, se procede a establecer un modelo matemático que permita relacionar los decibeles que se obtengan mediante la inspección de una fuga dato que se obtiene aplicando el equipo de ultrasonido ULTRAPROBE 15000 con la finalidad de obtener la potencia requerida y de esta forma saber cuantificar las pérdidas económicas por cada una de las fugas presentes en un sistema.

El modelo matemático se describe a continuación:

$$Y = [e^{-1,6617} * (-X - 17,292)^{0,0976}] + 0,7668$$

Cabe señalar que el modelo descrito es aplicable para valores de decibeles que se encuentren dentro del rango de -17,292 hasta $-\infty$.

CONCLUSIONES

Se logró establecer un modelo matemático con la aplicación de la técnica de mantenimiento predictivo que permite determinar pérdidas económicas en sistemas de aire comprimido en los que se presenten fugas, la presencia de fugas reduce considerablemente la vida útil debido al aumento de los ciclos de apagado y encendido del compresor.

La técnica de ultrasonido representó una herramienta útil para la localización de fugas en sistemas de aire comprimido.

Con los datos obtenidos mediante las mediciones en el módulo de pruebas se procedió al análisis e interpretación de resultados observando que los parámetros como presión, caudal, potencia del sistema, potencia del consumidor final (pistón neumático), potencia requerida para la compresión, decibeles y frecuencia varían con cada diámetro de fuga y se concluyó que la fuga de mayores pérdidas energéticas presenta es la de 3mm esto debido a que la potencia del consumidos final es de 0,386 bar y el caudal de aire que se desperdicia es de 35,00 l/min dando como resultado que el pistón descienda muy lentamente y con una presión muy baja comparándola con la presión del sistema sin fugas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Air solutions Audits. (s.f.). Soluciones energéticas. Recuperado el 22 de 04 de 2019, de file:///C:/Users/anton/Downloads/Fugas%20de%20aire.pdf
- Billep, J., Service, M., & FEsto AG & Co. Kg, A. (24 de Marzo de 2013). Festo. Obtenido de https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/300861/WhitePaper_EnergySavingServices_ES.pdf
- CAMRY. (s.f.). Manual de la Balanza. Recuperado el 29 de JUNIO de 2015, de Model EB 9003.
- Catálogos, C. d. (Agosto de 2011). Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos. Recuperado el 29 de junio de 2015, de Neumática Convencional; ejercicios: <http://blog.utp.edu.co/ricosta/files/2011/08/ejercicio-catalogo-SMC1.pdf>
- CHAPRA S., C. R. (1987). Métodos Numéricos para Ingenieros. Naucalpan de Juárez; México: Libros McGraw-Hill de México S.A. de C.V.
- CUNALATA, O. G. (13 de mayo de 2010). Implementación de un análisis de mantenimiento basado en condición de los compresores recíprocos y de tornillo. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://dSPACE.espace.edu.ec/bitstream/123456789/260/3/15T00437.pdf>
- ECURED. (s.f.). Válvula de Bola. Recuperado el 29 de JUNIO de 2015, de

- http://www.ecured.cu/index.php/V%C3%A1lvula_de_bola
- Eurocontrol. (27 de 09 de 2018). Comunicación. Expertos en soluciones de control, calidad y seguridad. Recuperado el 22 de 04 de 2019, de <http://www.eurocontrol.es/uncategorized/las-fugas-de-aire-comprimido-y-su-incidencia-en-los-costes-de-energia/>
- GRUPO DE GESTIÓN EFICIENTE DE ENERGÍA, K. (s.f.). Eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/aire.pdf>
- INC. UE SYSTEMS, U. 1. (s.f.). MANUAL DE INSTRUCCIONES. Recuperado el 29 de JUNIO de 2015, de <http://www.uesystems.eu/wp-content/uploads/ES-Manual-UP15000.pdf>
- INC. UESYSTEMS, U. 1. (s.f.). Datos del Equipo de ultrasonido pasivo. Recuperado el 29 de JUNIO de 2015, de <http://www.uesystems.eu/wp-content/uploads/ES-UP15000.pdf>
- INDUSTRIAL, A. (2 de septiembre de 2010). Distribución de Aire Comprimido. Recuperado el 29 de junio de 2015, de Neumatica, hidraulica, microcontroladores y autómatas: <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/distribucion-de-aire-comprimido.html>
- INDUSTRIAL, L. (s.f.). Pérdidas por Fricción en accesorios. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://www.leonindustrial.com.ar/gallery/215.pdf>
- JIMENEZ, S. d. (2003). Instalaciones Neumáticas. UOC(UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA).
- Lescaillep, D. E. (Enero de 2001). APLICACIONES INDUSTRIALES. 23(2). Recuperado el 29 de junio de 2015, de Instalaciones de Aire comprimido (central compresora): <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/230/228>
- METAL WORK, P. (2007). Racores Automáticos. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://www.ecuatorianaindustrial.com/media/pdf/METAL%20WORK/PDF%20RACORES/N4/N41/N411.pdf>
- MICRO. (s.f.). Micro Válvulas. Recuperado el 29 de JUNIO de 2015, de Válvula Direccionales: <http://www.microautomacion.com/catalogo/02Válvulas.pdf>
- MOTT, R. L. (1996). Mecánica de Fluidos aplicada. Naucalpan de Juárez-Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- MURILLO M, T. L. (15 de septiembre de 2011). Auditoria del sistema del aire comprimido en una empresa de textiles. Recuperado el 29 de junio de 2015, de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCMQFjAB&url=https%3A%2F%2Fwww.dspace.espol.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F16929%2F1%2F01_CARATULA-TEISIS%2520MARCELO%2520MURILLO%2520Y%2520LUIS%2520TOSCANO.pdf&ei=B5q
- OLARTE W, B. M. (2011). LA DETECCIÓN DE ULTRASONIDO: UNA TÉCNICA EMPLEADA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO. 17(47).
- ONUDI, D. P. (s.f.). Análisis Energético. Recuperado el 29 de junio de 2015, de http://www.unido.org/fileadmin/import/71421_4Exercices.pdf
- PARKER. (s.f.). Catalogos. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://www.parker.com/portal/site/PARKER/menuitem.223a4a3cce02eb6315731910237ad1ca/?vgnextoid=062eeea74775e210VgnVCM1000048021dacRCD&vgnnextfmt=default>
- PERALTA D, FERNANDEZ D, GALIO G. (7 de Febrero de 2011). Implementación de un sistema de control y administración de aire comprimido en un CRM, como soporte a la toma de decisiones. Recuperado el 29 de JUNIO de 2015, de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16064/1/Implementaci%C3%B3n%20de%20un%20sistema%20de%20control%20y%20administraci%C3%B3n%20de%20aire%20comprimido%20en%20un%20CRM%2c%20como%20soporte%20a%20la%20toma%20de%20decisiones.pdf>
- Pneumatic, M. W. (OCTUBRE de 2007). Cilindros Neumáticos. Recuperado el 29 de JUNIO de 2015, de Cilindro serie "ISO 15552" (EX ISO 6431): <http://www.metalwork.it/ita/img/prodotti/cilindri/11IT06%20ISO6431%20STD.pdf>
- PNEUMATIC, M. W. (2007). Micro regulador de Flujo. Recuperado el 29 de JUNIO de 2015, de Serie MRF N: http://www.metalwork.es/img/9910702%20COMP%20SPA%20IM02%2010_07.pdf
- Pneumatic, M. W. (2007). Valves Series 70. Recuperado el 29 de junio de 2015, de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.metalwork.it%2Fimg%2Fprodotti%2Fcirc_04_14%2FValves%252070_3-

8_GB.pdf&ei=dLKRvc-8H4Hf-
QGG6LCwAQ&usg=AFQjCNHGrb-
E2qM_3uQSjf2GWxV_rmBuWQ&si

- PORTEN. (s.f.). Manual del Operador. Recuperado el 29 de JUNIO de 2015, de Instrucciones de Operación: www.portentools.com
- RIVERA J, P. J. (2008). Implementación de programa de mantenimiento predictivo mediante la técnica de ultrasonido pasivo en la cooperativa colanta Ltda. Recuperado el 29 de junio de 2015, de http://www.researchgate.net/publication/37368291_Implementacin_de_programa_de_mantenimiento_predictivo_mediante_la_tcnica_de_ultrasonido_en_la_Cooperativa_Colanta_Ltda
- SEAS. (s.f.). Neumática. Recuperado el 29 de junio de 2015, de Unidad 3: Actuadores Neumáticos: http://oscut.seas.es/docs/t3_neumatica.pdf
- SHIGLEY, J. E. (1984). ELEMENTOS DE MÁQUINAS Vol.1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- SMC International Training. (s.f.). SMC International Training. Recuperado el 04 de 03 de 23, de <http://fp.educaragon.org/files/Eficiencia%20energetica%20en%20instalaciones%20aire%20 comprimido.pdf>
- TROYA, M. H. (10 de julio de 2010). Rediseño del sistema de aire comprimido de la estación de bombeo-faisanes del pilioducto esmeraldas-quito-macul. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://dSPACE.espol.edu.ec/bitstream/123456789/905/1/15T00446.pdf>
- WIT, D. (s.f.). Manómetro lleno de Glicerina. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://dominion.com.mx/fichas/manometro-dewit-317.pdf>
- ZHIMNAYCELA C., C. D. (2011). Implementación de un sistema de aire comprimido para un taller de mecánica automotriz. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://www.dSPACE.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21356/1/Proyecto%20Camp-Zhim.pdf>