

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



NOMBRE DEL SUB-EVENTO

II Conferencia Internacional en Desarrollo Energético Sostenible

Título

**Propuestas de mejoras continuas al sistema de aire comprimido del
centro de inmunología molecular.**

Title

**Proposals for continuous improvements to the compressed air system
of the molecular immunology center.**

Nombre y Apellidos¹, Nombre y Apellidos², ...

Ing. Jandry Fiallo Guerrero, Jefe del Departamento de Energía-Mantenimiento, CIM, La Habana, Cuba, jandry@cim.sld.cu

Resumen:

Este trabajo es resultado de un diagnóstico energético de segundo nivel realizado en el CIM, con el propósito de identificar las mejoras que se pueden ejecutar para lograr la eficiencia del sistema de aire comprimido, con el compromiso de cumplir con la norma ISO 50001:2011 para lograr la certificación del Sistema de Gestión Energética (SGEn) y proporcionar ahorros económicos a la empresa. Donde se identificaron cuatro medidas de impacto, realizándose los análisis económicos de manera puntual y global. Arrojando resultados factibles técnicos y económicos para la sustitución de los compresores actuales por otros de igual potencia pero de mayor eficiencia, también el aumento de la capacitancia neumática para evitar el uso excesivo del compresor en carga y descarga, se analiza incorporar un control de flujo-presión para entregar el aire a la presión requerida no a la presión generada, con la ventaja de poder reducir o eliminar la demanda artificial, igual se analizó la sustitución de las redes de distribución y la eliminación de las fugas de aire que existan ya que equivalen a pérdidas económicas, obteniendo resultados del ahorro al implementarse.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Abstract:

His work is the result of a second-level energy diagnosis carried out at the CIM, with the purpose of identifying the improvements that can be made to achieve the efficiency of the compressed air system, with the commitment to comply with ISO 50001: 2011 to achieve the certification of the Energy Management System (SGEn) and provide economic savings to the company. Where four impact measures were identified, the economic analyzes were carried out in a timely and comprehensive manner. Throwing feasible technical and economic results for the replacement of the current compressors by others of equal power but with greater efficiency, also the increase of the pneumatic capacitance to avoid the excessive use of the compressor in loading and unloading, it is analyzed to incorporate a flow control- pressure to deliver the air to the pressure required, not to the pressure generated, with the advantage of being able to reduce or eliminate the artificial demand, the replacement of distribution networks and the elimination of existing air leaks were analyzed, as they were equivalent to economic losses, obtaining savings results when implemented.

Palabras Clave:

Eficiencia; Compresores; Capacitancia neumática; Mejoras continuas.

Keywords:

Efficiency; Compressors; Pneumatic capacitance, Continuous improvements.

1. Introducción

(Revisión de la literatura científica publicada en relación a la temática de la ponencia. Los autores que lo estimen necesario pueden crear sub-acápites empleando la jerarquía 1.1 e incluyendo un título a desarrollar. No debe faltar en la introducción la exposición de la problemática que favorece la realización del estudio, el planteamiento del(los) objetivo(s)

En la actualidad las herramientas y accesorios accionados por aire comprimido son una imagen común en cada una de las industrias. Con la introducción de la neumática en el proceso de fabricación, la industria se beneficia con un medio más barato de automatización, el cual, si se utiliza con buen juicio, puede llevar el costo de producción hacia un nivel mucho más bajo.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

El Centro de Inmunología Molecular (CIM), es una empresa comprometida con la eficiencia energética por las grandes ventajas que otorga tanto ambientales, como sociales y financieras. El uso eficiente de la energía no sólo reduce la dependencia de los precios fluctuantes de los portadores energéticos y de las interrupciones en el suministro, sino que además muestra el compromiso de la empresa para contrarrestar el agotamiento de recursos no renovables. Por lo que es un compromiso optimizar cada uno de nuestros sistemas para lograr que sean eficientes y se utilicen racionalmente y para ello nos hemos dado a la tarea de realizar diagnósticos energéticos que nos brinden un sistema de mejoras continuas y plantear un plan de medidas para lograr su ejecución.

1.1. Fundamentos termodinámicos.

A continuación, seguimos con una pequeña introducción a los fundamentos de la termodinámica, que ayude a entender mejor el principio de funcionamiento de los equipos que constituyen un sistema de aire comprimido cualquiera (compresores, secadores...).

El primero lo constituye la ecuación general de los gases (y el aire está constituido por una mezcla de gases, entre los que destaca el nitrógeno en un porcentaje del 78% y el oxígeno en el 21%), por lo que la siguiente formulación le es también de aplicación. La ecuación que relaciona presión, volumen y temperatura de un gas es la siguiente:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

donde,

P es la presión absoluta del gas (Pa)

V es el volumen que ocupa (m³)

n es el número de moles (es el cociente entre masa del gas / peso molecular ó atómico del gas)

R es la constante de los gases (8,314 J/mol·K)

T es la temperatura absoluta (K).

De la anterior expresión se deduce que si se hace aumentar la presión de un gas en mayor proporción a la que disminuye su volumen, como ocurre en la cámara de un compresor de aire, entonces la temperatura de ese gas aumenta. Por eso, a la salida de un compresor el aire está más caliente.

Según la expresión anterior en un proceso isotérmico (T=cte.) las relaciones entre presión y volumen deben cumplir siempre la siguiente expresión:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

que es conocida como Ley de Boyle.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

Por otro lado, también se deduce que si se mantiene la presión constante (isobara) el volumen de un gas cambia en proporción directa a como lo hace su temperatura, es decir, que

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

que es conocida como Ley de Charles

Por último, otro aspecto que debe ser considerado en los sistemas de aire comprimido es la presencia de agua en el aire. En efecto, el aire exterior de la atmósfera puede ser considerado como una mezcla entre aire seco y vapor de agua. La cantidad o el porcentaje de vapor de agua presente en el aire se denomina humedad relativa. Los extremos estarán en el aire seco (contenido cero de agua) y en el aire saturado (cantidad máxima de agua que puede contener ese aire).

La capacidad del aire para contener agua depende de la temperatura, aumentando cuando esta aumenta, es decir, que un aire caliente puede contener más vapor de agua que un aire frío, pero a medida que este aire se enfríe su capacidad para retener la humedad se hace menor por lo que empezará a condensar gotitas de agua conforme la temperatura del aire baje.

Precisamente, el punto de rocío (PR) es esa temperatura a la que se satura el aire, es decir, la temperatura a la que el vapor de agua presente alcanza su presión de saturación. Si sigue bajando la temperatura por debajo de la temperatura de rocío entonces comienza a condensar agua, dado que el aire no tiene capacidad de contener esa humedad.

2. Metodología

2.1 Mejoramiento Energético

En la actualidad el CIM cuenta con tres compresores de aire, de los cuales dos son de tipo tornillo, que se encuentran en funcionamiento y uno de tipo reciprocante, que se encuentra en stand by; además el sistema cuenta con filtros, secadores, tanques de almacenamiento y se distribuye a través de un ramal alrededor de la planta productiva.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

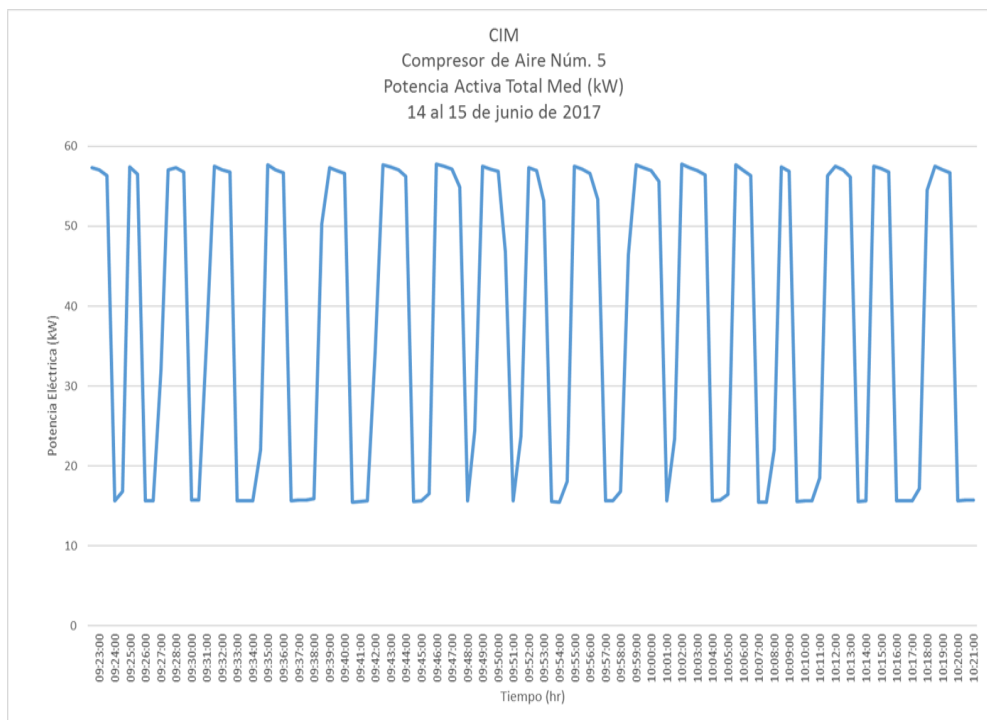


**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

Después de realizado un diagnóstico energético de segundo nivel se identificaron las siguientes medidas de ahorro:

- Sustitución del compresor de aire ineficiente por otro de alta eficiencia.
- Aumento de la capacitancia neumática mediante almacenamiento e implementar una válvula de flujo presión.
- Implementar un anillo en la red de distribución.
- Eliminación de salideros.

Se realizaron mediciones con un analizador de redes Fluke durante 24 horas obteniéndose la siguiente curva.



Donde se obtuvieron los siguientes resultados: la demanda máxima es de 58,35 kW mientras que la demanda promedio es de 39,70 kW; manteniendo este ritmo de operación el compresor se mantendría trabajando 5 475 horas al año, o sea, 15 horas diarias; además es posible observar que el mismo arranca y para en poco intervalo de tiempo provocando un mayor consumo, también se obtuvo por dato de chapa que la eficiencia del mismo es de 22,10 kW/100 CFM.

A continuación, se presenta el consumo y costo de operación del compresor que se encontraba en funcionamiento al realizarse el diagnóstico.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Teniendo en cuenta la siguiente distribución de horas de acuerdo al horario pico, día y madrugada.

Horas de la Madrugada	1460
Horas del Pico	730
Horas del Día	3285
Horas totales	5475

Y que el costo de la demanda facturable es 7 UM, que el horario pico el costo del kW es de 0,2243 UM, en el horario del día es 0,1443 UM y en la madrugada es 0,1154 UM.

Se obtiene la evaluación del compresor actual.

Evaluación del compresor actual		
Potencia máxima demandada	58,35	kW
Potencia promedio demandada	39,7	kW
Consumo en Período del Pico	28981	kWh/año
Consumo en Período del Día	130414,5	kWh/año
Consumo en Período de la Madrugada	57962	kWh/año
Consumo Total	217357,5	kWh/año
Importes al Año		
Importe en Demanda	\$4901,40	
Importe en Consumo Pico	\$ 6500,44	
Importe en Consumo Día	\$ 18818,81	
Importe en Consumo Madrugada	\$ 6688,81	
Importe Total	\$ 36909,46	

Teniendo en cuenta los consumos y costos de operación se propone la instalación de un compresor de igual potencia, pero con una eficiencia de 17,5 kW/100 CFM; manteniendo lo mismo que se planteó anteriormente en las horas de operación y los costos del kW, se obtiene la evaluación para el compresor propuesto.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

Evaluación del compresor actual		
Potencia máxima demandada	46,15	kW
Potencia promedio demandada	25,77	kW
Consumo en Período del Pico	18812,1	kWh/año
Consumo en Período del Día	84654,45	kWh/año
Consumo en Período de la Madrugada	37624,2	kWh/año
Consumo Total	141090,75	kWh/año
Importes al Año		
Importe en Demanda	\$ 3876,60	
Importe en Consumo Pico	\$ 4219,55	
Importe en Consumo Día	\$ 12215,64	
Importe en Consumo Madrugada	\$ 4341,83	
Importe Total	\$ 24653,62	

Obteniéndose los ahorros por la sustitución del compresor actual por uno de mayor eficiencia. Los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Ahorros por sustitución del compresor		
En Potencia	12,20	kW
Consumo en Período del Pico	10168,90	kWh/año
Consumo en Período del Día	45769,05	kWh/año
Consumo en Período de la Madrugada	20337,80	kWh/año
Ahorro total en Consumo	76275,75	kWh/año
Ahorros económicos al año		
En Demanda	\$ 1024,80	
Importe en Consumo Pico	\$ 2280,89	
Importe en Consumo Día	\$ 6603,17	
Importe en Consumo Madrugada	\$ 2346,98	
Total	\$ 12255,84	

Teniendo en cuenta que el precio de este nuevo compresor es de 53 488 UM y que el ahorro anual sería de 12 255,84 UM, es posible calcular que el tiempo de recuperación de la inversión sería en 4,4 años.

También se pueden obtener ahorros si incrementamos la capacitancia neumática, debido a que el compresor que se encuentra en funcionamiento cuenta con un tanque de almacenamiento de 2 000 L, en tanto, presenta una capacidad de entrega de 273,7 CFM y lo ideal sería almacenar 16 L por cada CFM, o sea, 4 379 L, por lo que hace necesario sustituir el tanque de 2 000 L existente por uno de 5 000 L o tomar el de 3 000 L que cuenta el compresor que está en stand by y ponerlo a trabajar en conjunto con el de

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

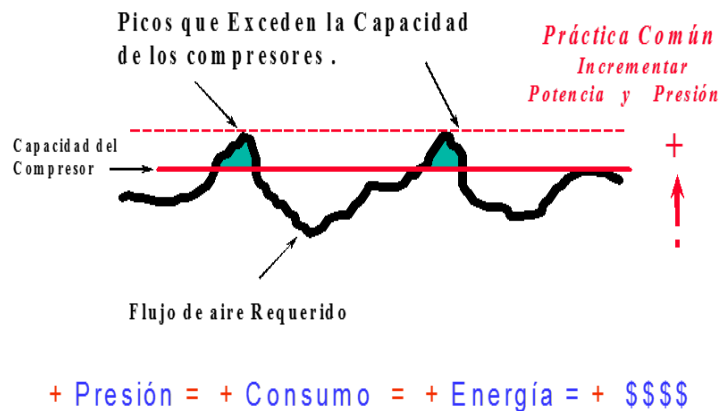
2 000 L, evitando que el compresor arranque y paro en períodos cortos de tiempo y así consumiría menos energía eléctrica.

Mantener un adecuado almacenamiento de capacitancia neumática se traduce en:

- Proporcionar capacidad de almacenamiento que sirve para evitar que los ciclos de operación de un compresor sean muy cortos, con lo que se reduce el desgaste y uso del compresor, esto implica un ahorro de energía.
- Incrementar el enfriamiento y recuperar posibles residuos de condensando y aceite.

De igual manera podemos obtener ahorros significativos al implementar en nuestro sistema de aire comprimido un control de flujo-presión.

Debido a la naturaleza fluctuante del uso de aire en la planta da como resultado que surjan oportunidades de ahorro de energía, asociadas a las condiciones de operación del compresor, principalmente en condiciones de carga parcial. El principal problema en un sistema de aire comprimido se presenta cuando el sistema debe satisfacer la demanda de los picos de aire.



En el caso actual, el tanque solo funciona como una burbuja en la tubería ya que el aire que sale tiene que ser reemplazado dentro del tanque. Otra ventaja es que al entregar el aire a la presión requerida no a la presión generada como lo hacen ahora, se elimina la demanda artificial generada porque los sistemas de aire compensan mayor demanda de aire con mayor presión en el sistema.

Por ello es indispensable que asociado a los tanques de almacenamiento se coloque un control de flujo que además regule la presión de salida del último tanque. Luego el control de flujo debe entregarte una presión entre 5 y 10 psi mayor a la máxima aplicación. Así

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



mismo la presión de salida de los compresores se ajusta a un valor entre 10 y 20 psi superior a la que saldrá del tanque.



En resumen, al implementarse este sistema se tienen las siguientes ventajas:

1. Aísla los compresores de la demanda de aire.
2. Permite acumular aire en los ciclos de bajo consumo.
3. Protege a los usuarios pequeños de los grandes.
4. Crea un almacenamiento positivo para ser usado en los picos de demanda.
5. Permite secuenciar los compresores para optimizar su uso.
6. Menor tiempo de operación de compresores, menor consumo de energía, menor consumo de lubricante y partes de repuesto y en general menor mantenimiento.
7. Sistema de presión estable.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

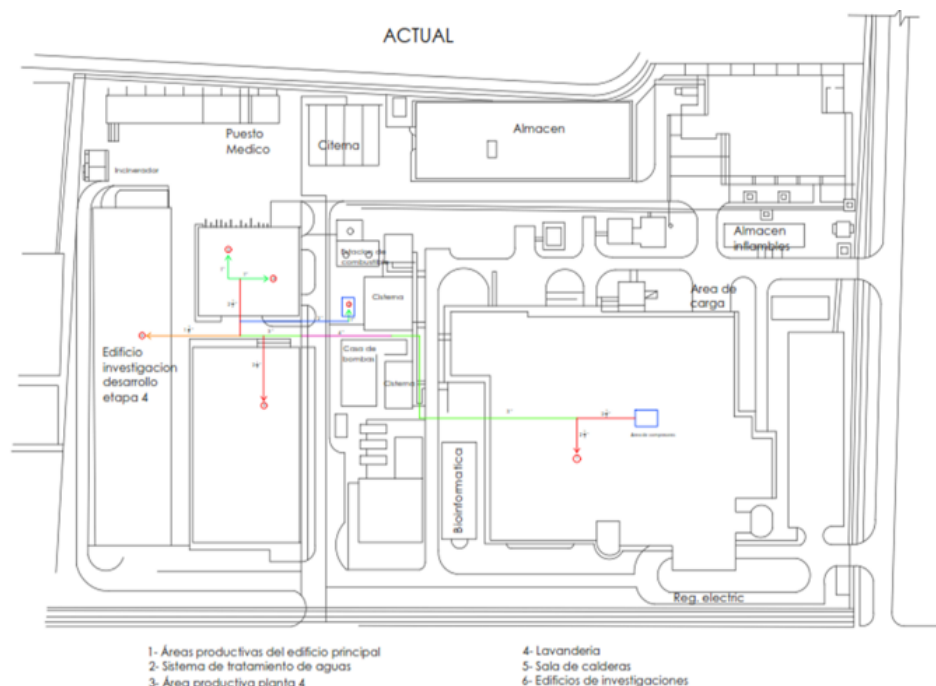
8. Se reducen las fugas de aire ya que estas dependen del diferencial de aire entre la presión en la línea y la presión atmosférica.
9. Se reduce o elimina la demanda artificial.

Es posible generar ahorros al implementar un anillo en la red de distribución.

El sistema está compuesto por tres compresores y diseñado para que cada uno trabaje independiente, utilizándose solo uno de ellos, por la disposición en la que se encuentra el sistema actual que es tipo ramal lineal, por lo cual no se está aprovechando sus capacidades para reforzar el flujo que se entrega, tampoco se aprovecha las capacidades de los tanques de almacenamiento, ni esta implementado un control global de flujo y presión.

Por lo que se propone rediseñar el sistema de distribución para los diferentes usuarios.

En la actualidad:



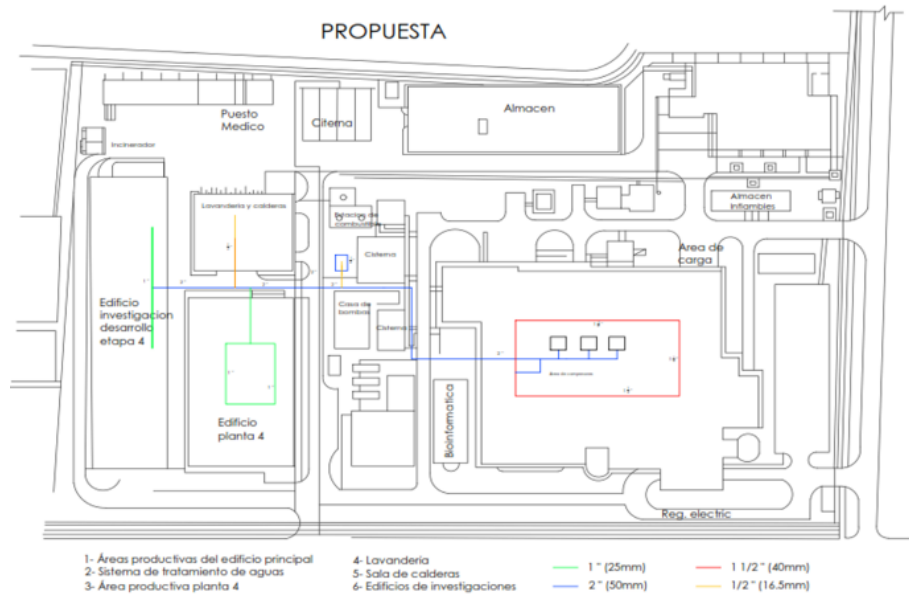
Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Propuesta:



También es posible proporcionar ahorros al disminuir los salideros de aire comprimido.

En el momento del diagnóstico se detectó en el área de tratamiento de agua un salidero de gran consideración, en particular en la válvula de regulación de presión de aire, donde se puede tener el siguiente potencial de ahorro:

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

	Precio del kW	Precio del kW en la Madrugada (UM)	Precio del kW en el Día (UM)	Precio del kW en el Pico (UM)
Costo promedio de consumo (UM/kW)	\$ 7	\$ 0,1154	\$ 0,1443	\$ 0,2243
Presión de trabajo bar (PSIG)	7 bar	101,53 PSIG		
Potencia de generación máxima (kW)	58,35 kW			
Potencia de generación promedio (kW)	39,70 kW			
Aire generado por el compresor (CFM)	264 CFM			
Eficiencia neumática (CFM/hp)	3,65 CFM/hp			
1 CFM por kW	4,52			
Costo del CFM (UM/CFM)	\$ 31,64			
Costo de 1 CFM (\$kW/CFM) por horas al año		\$ 0,5216	\$ 0,6522	\$ 1,0138
Tamaño de la fuga, tubería de PVC (mm)	12,70 mm			
Consumo con base al tamaño de la fuga (CFM)	415 CFM			
Potencia (kW) por fuga de aire en CFM	91,81 kW			
Tiempo de fugas (h/año)		1460	3285	730
Costo por la fuga de aire (UM/periodo)		\$ 216,46	\$ 270,63	\$ 420,73
Costo total por fuga (UM/año)	\$ 907,82			

En resumen, teniendo en cuenta todos estos aspectos antes mostrados se hizo una evaluación de ahorro arrojando los siguientes resultados:

Evaluación del compresor propuestos operando con un control de flujo, mayor almacenamiento y con una red de distribución en lazo cerrado		
Potencia máxima demandada	18.97	kW
Potencia promedio demandada	16.52	kW
Consumo en Período del Pico	12059,6	kWh/año
Consumo en Período del Día	54268,2	kWh/año
Consumo en Período de la Madrugada	24119,2	kWh/año
Consumo Total	90447	kWh/año
Importes al Año		
Importe en Demanda	\$ 1 593,48	
Importe en Consumo Pico	\$ 2 704,97	
Importe en Consumo P. Día	\$ 7 830,90	
Importe en Consumo Madrugada	\$ 2 783,36	
Importe Total	\$ 14 912,71	

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

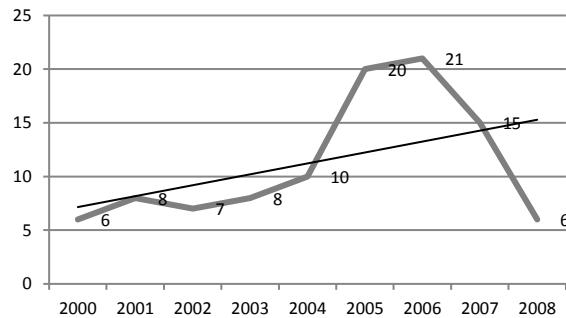


Figura 1. El título de las figuras se colocará en la parte inferior, centrado, utilizando numeración secuencial según el orden en que aparecen en el trabajo (Times New Roman a 10 puntos).

4. Conclusiones

Con los precios de la energía mostrados, se tiene que la planta gasta anualmente \$36 909,46 por operar los compresores, mientras que con las propuestas el costo sería de \$14 912,71, más la eliminación del salidero de lo \$907,82 que significa un ahorro en facturación eléctrica anual de \$ 22 904,57.

5. Referencias bibliográficas

1. Ahorro energético:
https://www.smc.eu/portal_ssl/webpages/02_solutions/energy_saving/energy_saving_es.pdf
2. Curso sobre diseño de instalaciones de transporte neumático. Cátedra de Mecánica de Fluidos, ETSII de Barcelona, Universidad Politécnica de Barcelona, Febrero 1980.
3. Curso – taller promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica:
[http://www.cnee.gob.gt/eficienciaenergetica/FIDE/008%20M%C3%B3dulo%20VIII%20\(AEE%20Aire%20Comprimido\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/eficienciaenergetica/FIDE/008%20M%C3%B3dulo%20VIII%20(AEE%20Aire%20Comprimido).pdf)
4. GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno:
https://www.ndf.fi/sites/ndf.fi/files/attach/energy_efficiency_guide_in_spanish.pdf

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



5. Guía técnica de sistemas de aire comprimido, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE).
6. Improving compressed air system performance. A sourcebook for industry Department of Energy DOE 2003.
7. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE):
<http://www.idae.es/>
8. Manual de aire comprimido. Edición 2011. Atlas Copco.
9. Ratnayake C., “A comprehensive scaling up technique for pneumatic transport systems”, The Norwegian University of Science and Technology, Department of Technology, 2005.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu