

Organiza:



V ENCUENTRO Ingeniería de la Energía

Patrocinadores:



Asociación Nacional
de Productores
de Energía Renovable



Cátedra
Takasago Industria y
Mantenimiento 4.0



CÁTEDRA DEL AGUA
Y LA SOSTENIBILIDAD



ACTAS DEL CONGRESO

V ENCUENTRO DE INGENIERÍA DE LA ENERGÍA DEL CAMPUS MARE NOSTRUM



Editores:

Mariano Alarcón García (Editor)

Manuel Seco Nicolás (Co-editor)

© Mariano Alarcón García

ISBN: 978-84-09-29971-3

Dirección web de congreso: V-EIECMN

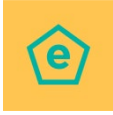
Universidad de Murcia

Campus Mare Nostrum

Del 23 al 26 de
noviembre de 2020

Quinta edición del Encuentro orientado a servir de espacio de reunión para tratar las distintas facetas de las aplicaciones de la Energía en los ámbitos académico y profesional, así como de instituciones y empresas en el que compartir trabajos, se muestren avances creando un espacio virtual de debate y reflexión en el que plantear soluciones a los importantes retos que la Sociedad tiene en el ámbito de la Energía, englobado en el ODS-7, *Energía asequible y no contaminante*, desde una vocación tecnológica pero a la vez con sensibilidad social.





MEJORA EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PROVOCADA POR LA MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE UNA PLANTA DE SÍNTESIS QUÍMICA.

Sánchez Robles, J.¹; Gómez de León Hijes, F.C.²; Ena Bernad A.³

¹*Maintenance Department. Takasago International Chemical Europe S.A. Murcia. Spain.*

²*Area of Mechanical Engineering. University of Murcia. Computing Faculty.*

30100 - Murcia. Spain. E-mail: gdleon@um.es

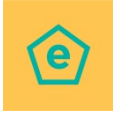
³*Reliability & Programming Department. BNT Technology. Murcia. Spain.*

RESUMEN.

Durante las últimas décadas, la implantación de nuevas técnicas de mantenimiento predictivo en empresas industriales ha experimentado un importante auge, el cual ha venido acompañado de una visión cada vez más clara de los beneficios que estas provocan, como por ejemplo la reducción del número de fallos imprevistos, la prolongación de la vida útil de los activos, el aumento de la disponibilidad o el aumento de la seguridad para el trabajador.

Si bien es cierto que gran parte de estos beneficios son ampliamente conocidos, también lo es que a menudo se pasa por alto uno que, si bien es indirecto, cuenta con una notable importancia si es traducido a términos económicos, y no es otro que el gasto en energía, el cual es provocado por consumos innecesarios producidos por sobreesfuerzos, rozamientos u otros fenómenos similares.

El presente estudio incluye inicialmente la determinación del incremento en el consumo energético que producen algunos de los fallos o defectos más habituales en bombas centrífugas, expresándolo el resultado en porcentaje respecto al consumo nominal que tienen estos equipos en un buen estado funcional. Tras esto, los resultados de esta fase preliminar son aplicados, en un caso real, a las estaciones de bombeo de una planta industrial de síntesis química, determinando el ahorro económico provocado por la implantación de un conjunto de mejoras en su plan de mantenimiento predictivo.



1. Introducción.

Durante las últimas décadas, las empresas del sector industrial han cambiado radicalmente el tradicional concepto que se tiene del mantenimiento, pasando este de ser considerado como poco más que un mal necesario a considerarse como imprescindible para la supervivencia de la empresa en el complejo y competitivo mercado actual, puesto que gracias al buen hacer de éste, se pueden mantener los elevados niveles de disponibilidad y fiabilidad necesarios.

Un diseño adecuado del plan de mantenimiento predictivo de la empresa permite además mantener unos elevados niveles de calidad y seguridad productiva, así como lograr un importante ahorro económico derivado de la ausencia de paradas imprevistas, de actuaciones innecesarias de mantenimiento, y por supuesto del ahorro energético que supone el trabajar con equipos productivos en buen estado [1].

Pasar por alto este último beneficio comentado, constituye un verdadero error puesto que el incremento del consumo energético derivado del funcionamiento de un equipo en un estado defectuoso se sitúa entre el 5% y el 10% según diversos estudios [2],[3].

Este hecho, constituye la motivación inicial del presente trabajo, el cual se ha llevado a cabo en los parques de bombeo de una importante planta industrial de síntesis química de la Región de Murcia, en cuyo plan de mantenimiento se incluyeron previamente un conjunto de mejoras que, si bien pusieron de manifiesto un indudable ahorro económico, este no incluyó en primera instancia la parte energética.

Por tanto, el objetivo principal marcado en este trabajo fue el de determinar cuantitativamente el ahorro económico que supuso la implantación de dichas mejoras, siendo necesario determinar en primer lugar el incremento del consumo energético provocado por estados funcionales deficientes, y en segundo, el tiempo de funcionamiento de cada equipo en este tipo de circunstancias.



2. Mejoras Implantadas en el Plan de Mantenimiento Predictivo.

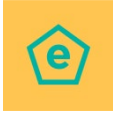
Antes de comenzar con la parte empírica del presente trabajo, cabe mencionar que el plan de mantenimiento predictivo previo a la implantación de las mejoras se limitaba a la realización de una única rutina trimestral de mediciones de vibración sobre cada uno de los equipos, en otras palabras, el estado funcional de cada equipo era evaluado una única vez cada tres meses.

Este planteamiento que, si bien mejora las tradicionales rutinas preventivas, dista aún mucho de ser el más adecuado al poder presentarse situaciones indeseadas tales como aquellas en las que se realiza un excesivo número de mediciones sobre un equipo en buen estado, u otras mucho más peligrosas como aquellas en las que el tiempo medio entre fallos es inferior al tiempo medio entre medidas, pudiendo por tanto producirse un fallo en cualquier momento.

Junto con esta equidad temporal entre mediciones, existía un segundo factor mejorable como era el hecho de que las evaluaciones de las mediciones podían ser realizadas por diferentes técnicos, una circunstancia que abría la puerta a la manifestación de subjetividades, posibilitando en consecuencia la generación de diferentes diagnósticos funcionales para una misma situación real.

Con el fin de minimizar estas debilidades, se planteó un paquete de tres mejoras a implantar sobre el plan de mantenimiento predictivo, a saber:

- Desarrollo e implantación de una metodología dinámica para el cálculo del tiempo medio entre mediciones, con la que establecer el adecuado tiempo entre medidas [4].
- Desarrollo e implantación de una metodología de evaluación multiparamétrica del estado funcional, mediante la cual se consiguió homogeneizar la fase de evaluación y diagnóstico funcional [5].
- Desarrollo e implantación de una metodología de cálculo de niveles de severidad, que permita determinar cuáles son los niveles de alerta, alarma e incluso parada más adecuados para cada equipo.



3. Determinación cuantitativa del incremento de consumo eléctrico provocado por los defectos funcionales.

Tal y como se comentó anteriormente, el primer paso consistió en la determinación empírica del incremento real de consumo eléctrico que experimentan los equipos cuando son sometidos a condiciones funcionales deficientes, expresando este en términos de porcentaje por encima del consumo nominal o consumo del equipo en buen estado.

Para realizar esta fase, se recurrió inicialmente a una evaluación pormenorizada de la base de datos del GMAO, detectando los defectos funcionales más repetitivos e importantes. Los resultados de este estudio son los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 1. Defectos funcionales más importantes de los equipos incluidos en el estudio.

Defecto funcional	N.º de casos
Desalineación	246
Rodamientos deteriorados	215
Cambio de acoplamiento	132
Desequilibrio	125
Soltura en sujeciones	71
Bastidor en mal estado	34

Una vez conocidos estos defectos funcionales más importantes, se procedió a la preparación del banco de pruebas, montando en primer lugar el conjunto motor-bomba sobre el correspondiente bastidor, y a continuación el dispositivo analizador de redes sobre la alimentación eléctrica. Cabe mencionar que este dispositivo es el que permite monitorizar y registrar el consumo eléctrico en cada una de las siete pruebas planificadas.

La primera de estas pruebas se corresponde con la medición del consumo eléctrico del equipo en buenas condiciones, es decir, sin ningún tipo de fallo o defecto, mientras que las seis restantes se corresponden cada una de ellas a la medición de dicho consumo,



sometiendo de forma voluntaria al equipo a cada uno de los defectos funcionales más los habituales de forma individual. Los resultados de estos ensayos fueron los expuestos la siguiente tabla:

Tabla 2. Incremento en el consumo eléctrico para cada tipo de defecto funcional.

Defecto funcional	% incremento consumo
Desalineación	4%
Rodamientos deteriorados	6%
Acoplamiento en mal estado	6%
Desequilibrio	5%
Soltura en sujeciones	5%
Bastidor en mal estado	6%

4. Determinación cuantitativa del ahorro económico potencial y real.

Una vez determinado el exceso en el consumo eléctrico que provocan cada uno de los defectos funcionales, se puede abordar el siguiente paso, el cual consiste en el cálculo del potencial ahorro económico alcanzable con la implantación de las mejoras en el plan de mantenimiento predictivo. Para realizar esto, se han determinado un total de tres tipos de costes diferentes, uno para cada una de las situaciones posibles, a saber:

- Situación 1: aquella en la que se logra mantener el buen estado funcional del equipo durante todo el intervalo temporal abarcado por el estudio.
- Situación 2: se trata de una situación previa a la implantación de las mejoras, es decir, aquella en la que los equipos se ven sometidos al plan de mantenimiento inicial, que recordé, estaba basado en una única evaluación funcional de cada equipo, con una periodicidad trimestral.
- Situación 3: es aquella en la que el mantenimiento de los equipos ya tiene implantadas las mejoras anteriormente comentadas, en otras palabras, se trata de la situación real.



Una vez llegados a este punto, cabe destacar que el ahorro económico potencialmente alcanzable, se determina mediante la diferencia entre la suma de los costes energéticos de la situación 2 y los de la situación 1. Igualmente, la diferencia entre los costes energéticos correspondientes a la situación 3 y los de la situación 1, se corresponderán con el ahorro económico real obtenido tras la implantación de las mejoras.

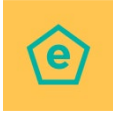
Determinar los costes en las situaciones 2 y 3 requiere el cálculo previo tanto del tiempo en el que cada equipo trabaja en buenas condiciones como del tiempo en el que estos trabajan en condiciones deficientes. Para determinar estos tiempos, fueron necesarios sendos estudios sobre las bases de datos históricas de diagnósticos funcionales, es decir, sendos estudios llevados a cabo sobre la base de datos de diagnósticos previa a la implantación de las mejoras, y sobre la base de datos de diagnósticos tras la implantación de éstas. La siguiente tabla muestra a título orientativo, una parte de los resultados obtenidos:

Tabla 3. Ejemplo de clasificación de tiempos funcionales calculados para los equipos incluidos en el estudio.

CÓDIGO DEL EQUIPO	Previa a la implantación de las mejoras		Posterior a la implantación de las mejoras	
	% tiempo en buen estado	% tiempo en estado deficiente	% tiempo en buen estado	% tiempo en estado deficiente
BV-51	85,3	14,7	93,5	6,5
BV-52	92,5	7,5	97,2	2,8
BV-53	78,8	21,2	92,3	7,7
BV-54	94,2	5,8	95,9	4,1
BV-55	88,3	11,7	99,3	0,7

Tras obtener los datos anteriores, se procedió al cálculo directo de los costes para cada una de las situaciones, para lo cual se aplicó directamente la siguiente fórmula a cada una de ellas, aplicando los correspondientes porcentajes:

$$Coste = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot h_{bi} \cdot c_i) + (P_i \cdot h_{di} \cdot c_i \cdot 1,05)$$

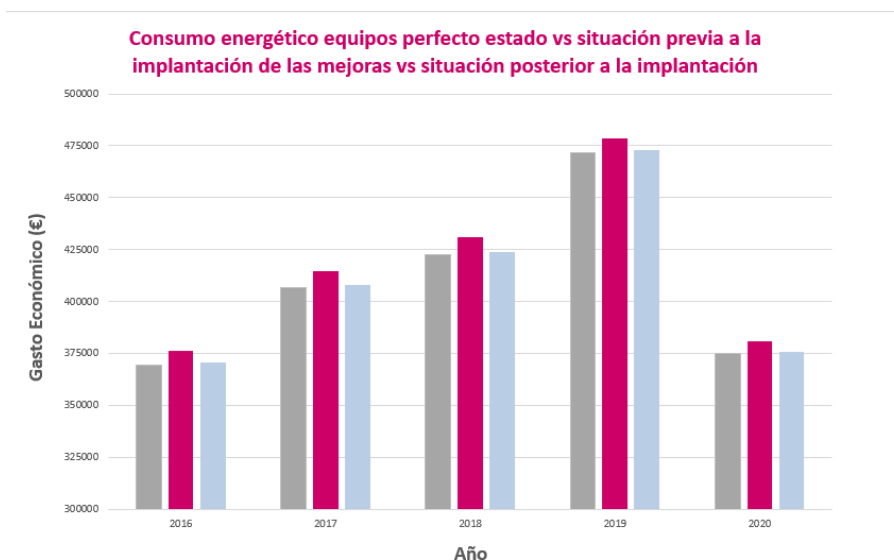


donde:

- P_i : potencia total instalada en el año i .
- h_{bi} : horas de funcionamiento del equipo en buen estado en el año i .
- c_i : precio medio del kilovatio-hora en el año i
- h_{di} : horas de funcionamiento del equipo en estado deficiente en el año i

Los cálculos realizados se corresponden a un intervalo temporal de 5 años, puesto que esta es la fecha que dista entre la implantación de la última de las mejoras y la actualidad, siendo los resultados obtenidos los expuestos en la siguiente figura, correspondiéndose las franjas de color gris, magenta y azul, con los costes de las situaciones 1, 2 y 3 respectivamente:

Figura 1. Costes energéticos totales de las tres situaciones posibles.



La evaluación de los resultados expuestos en la figura anterior, mostró que el potencial ahorro económico que podría haberse alcanzado ascendía a una cifra superior a los 60.000€, de los cuales se logró ahorrar en realidad una cifra en torno a los 54.000€, es decir el 90% del total posible. Si bien esta cifra resulta de por sí significativa, lo es más aún si se compara con la inversión necesaria para la implantación de las mejoras, puesto que esta inversión apenas alcanza el 25% del dicho ahorro alcanzado.



5. Conclusiones.

Como conclusión principal del presente trabajo, cabe destacar que los resultados obtenidos dan cumplimiento al objetivo establecido inicialmente, evidenciando mediante un caso real que los ahorros económicos derivados de trabajar con los equipos en buen estado son importantes y afectan directamente a la cuenta de resultados de la propia empresa.

El hecho de que el ahorro económico en este caso real cuadruplica la inversión inicial para la implantación de las mejoras, muestra que el ahorro energético-económico como un buen respaldo a la hora de solicitar cualquier tipo de inversión económica en el sentido de potenciar el plan de mantenimiento predictivo.

6. Bibliografía.

- [1] Gomez de León F C, *“Tecnología del Mantenimiento Industrial”*, Servicio de publicaciones de la Universidad de Murcia, 1998.
- [2] *“Técnicas de ahorro energético industrial con una buena formación en mantenimiento predictivo y alineación”*. Tecnología para la Industria. 2019.
<https://tecnologiaparalaindustria.com/formas-de-ahorro-energetico-industrial-con-una-buena-formacion-en-mantenimiento-predictivo-y-alineacion/>
- [3] Altman C. *“El mantenimiento y la Eficiencia Energética”*. Reliabilityweb.
<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-mantenimiento-y-la-eficiencia-energetica>
- [4] Martínez García F M, Tesis Doctoral Universidad de Murcia (España). Dic.2015._
<https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/47222/1/TESIS%20FERNANDO%202015.pdf> [un 22 de enero de 2020]ccesed.
- [5] Gomez de León F C, Et Al. *“Assessment of functional condition of equipment in industrial plants baed on multiple measurements”*. Measurement. 2020.



Comités del V Congreso Encuentro de Ingeniería de la Energía del Campus Mare Nostrum

Comité organizador

Mariano Alarcón García (Presidente)
Manuel Seco Nicolás
Francisco del Cerro Velázquez
Juan Pedro Luna Abad
Alfonso P. Ramallo González
Fernando Lozano Rivas

Comité científico

Alfonso P. Ramallo González (UM)
Antonia Baeza Caracena (UM)
Antonio González Carpena (UM)
Antonio Urbina Yeregui (UPCT)
Antonio Viedma Robles (UPCT)
Félix Cesáreo Gómez de León Hijes (UM)
Fernando Illán Gómez (UPCT)
Francisco del Cerro Velázquez (UM)
Francisco Vera García (UPCT)
Gloria Alarcón García (UM)
Gloria Villora Cano (UM)
Joaquín Zueco Jordán (UPCT)
José A. Almendros Ibáñez (UCLM)
José Miguel Martínez Paz (UM)
José Ramón García Cascales (UPCT)
Juan Pedro Luna Abad (UPCT)
Juan Pedro Montávez Gómez (UM)
Manuel Lucas Miralles (UMH)
Manuel Seco Nicolás (UM)
Mariano Alarcón García (UM)
Miguel Ángel Zamora Izquierdo (UM)
Pedro J. Vicente Quiles (UMH)
Teresa Maria Navarro Caballero (UM)
Teresa Vicente Vicente (UM)

ley. Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

**ACTAS DEL CONGRESO V ENCUENTRO DE
INGENIERÍA DE LA ENERGÍA DEL CAMPUS MARE
NOSTRUM**

**PROCEEDINGS OF THE V MEETING OF ENERGY ENGINEERING OF
CAMPUS MARE NOSTRUM**

Editor

Mariano Alarcón García

Co-editor

Manuel Seco Nicolás

Murcia 2021