Optimización de la productividad en una compañía de instalación y mantenimiento de sistemas CHP

Gustavo Montiel Pineda
Maestría en Ingeniería Gerencial
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Consejero: Héctor J. Cruzado, PhD, PE
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen

Empire Gas se dedica a la distribución de propano y mantenimiento de sistemas de cogeneración. La compañía enfrenta retrasos en entregas de mantenimientos, altos costos de inventario y baja motivación del personal. Se analizó el proceso de distribución de piezas y se introdujo un inventario rodante, reduciendo en un 20% el tiempo de trabajo del personal técnico. La criticidad y frecuencia de paradas de equipos se evaluó mediante un análisis modal de fallas y efectos, que permitió modificar las órdenes de piezas y reducir el costo en un 25%. Se realizaron entrevistas y encuestas para dimensionar los niveles de motivación del personal, se entrenó al equipo técnico para mejorar sus habilidades de diagnóstico y reparación, y se reasignaron funciones del personal administrativo para disminuir la tasa de rotación. La implementación del inventario rodante y ajustes a las órdenes de piezas generaron un ahorro inmediato, la tasa de rotación será evaluada posteriormente para verificar la efectividad de las acciones.

Introducción

Empire Gas Company distribuye propano tanto para el sector industrial como residencial en todo Puerto Rico desde el año 1967. Desde el año 2019, extendió sus operaciones a la instalación y mantenimiento de sistemas de cogeneración (CHP, por sus siglas en inglés). Empire Gas buscó mejorar la productividad y la eficiencia de los servicios que ofrecen en los sistemas de CHP, debido a que en ocasiones se enfrentan a situaciones que dificultan la entrega a tiempo de reparaciones y mantenimientos. La compañía solicitó disminuir los costos de operaciones relacionados con los servicios a sistemas de CHP. Adicionalmente, la empresa estudió los niveles de motivación de sus empleados debido a que, en un estudio realizado recientemente, se determinó que la tasa de rotación ha aumentado progresivamente durante los últimos años.

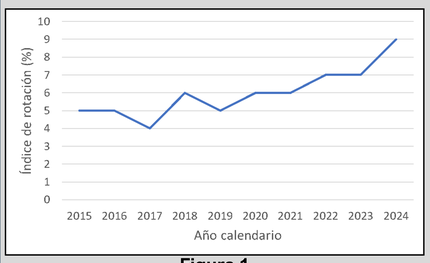

Figura 1
Tasa de Rotación en Empire Gas

Objetivos

- **Disminuir los costos de inventario**
- **Reducir la tasa de rotación de empleados**

Metodología

Para atender los problemas identificados, se implementaron varias estrategias enfocadas en dos áreas principales: la eficiencia operativa en el manejo de inventario y la motivación del personal. A continuación, se describen las acciones realizadas y los métodos utilizados para evaluar su efectividad.

Implementación de un inventario rodante

Se implementó un inventario rodante en forma de un camión para distribuir las piezas desde el almacén hacia donde requieran los clientes, y se auscultó su efectividad evaluando el tiempo de la jornada laboral del personal técnico durante un mes.

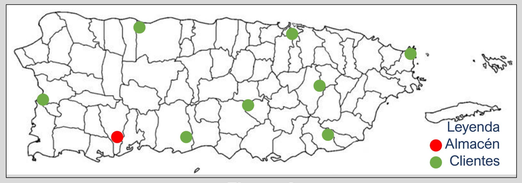

Figura 2
Mapa de clients CHP y el almacén

Aplicación de AMFE a equipos críticos

Se aplicó un análisis modal de fallas y efectos (AMFE) a los principales equipos de los sistemas CHP con el fin de identificar componentes críticos y establecer prioridades de inventario para mantenimiento preventivo. Para desarrollar el AMFE a los equipos críticos de operación (generadores, calderas, chiller y bombas centrífugas) se consideraron tres factores para estimar el número de prioridad de riesgo (RPN) descritos a continuación:

- ✓**Severidad (S):** 1 siendo ‘‘falla poco crítica’’ y 10 ‘‘falla extremadamente crítica’’.
- ✓**Ocurrencia (O):** 1 siendo ‘‘falla poco frecuente’’ y 10 ‘‘falla ocurre muy frecuentemente’’.
- ✓**Detección (D):** 1 siendo ‘‘falla fácil y/o económico de detectar’’ y 10 ‘‘falla difícil y costosa de detectar’’.

Reuniones con empleados

Se llevaron a cabo reuniones con el personal administrativo, técnico y gerencial para discutir inquietudes y medidas correctivas que permitan elevar los niveles de motivación y reducir la tasa de rotación.

Distribución de encuesta a empleados

Se diseñó y distribuyó una encuesta al personal. Las encuestas (con instrucciones de llenarse de forma anónima) tuvieron el objetivo de permitir una respuesta más transparente y libre de presión con respecto a cómo se podrían mejorar los niveles de motivación individualmente.

La encuesta consistió en 20 enunciados o afirmaciones al que a cada uno se le asignó una puntuación en un rango de 0 a 10, donde 0 representa ‘‘En total desacuerdo’’ y 10 ‘‘Totalmente de acuerdo’’ con lo que presenta el enunciado. La encuesta se preparó para atender diversos temas que tienen una gran influencia en la motivación del personal (preparación técnica, vacaciones, funciones desempeñadas, compensaciones, entre otros). Uno de los enunciados solicitaba a los participantes evaluar con un número del 0 al 10 la siguiente afirmación: ‘Las funciones que realizo en mi trabajo están relacionadas con mis estudios académicos’. Una puntuación de 0 significaba que no había relación, y una puntuación de 10 indicaba una relación total.

Implementación de estrategias de motivación

A partir de los resultados obtenidos en las reuniones y encuestas, se implementaron acciones específicas dirigidas a mejorar la motivación tanto del personal administrativo como técnico.

Resultados y Discusión

Impacto del inventario rodante

El tiempo de la jornada laboral de los equipos técnicos se redujo hasta un 20% entre los dos periodos evaluados que se visualizan en la figura 2. Antes de implementar el camión, en el periodo 02/22/25-03/21/25, en 13 de los 22 días de trabajo se superó la jornada de 8 horas, luego de implementar el camión en el periodo estudiado de 03/22/25-04/21/25 solo se superaron las 8 horas de trabajo en 2 de los 22 días.

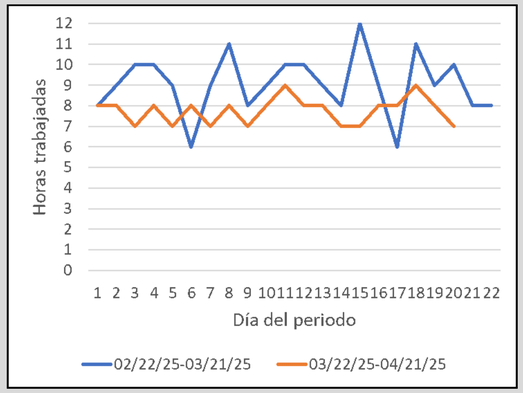

Figura 3
Jornada laboral del personal técnico en periodos evaluados

Reducción de costos de inventario

Luego de haberse desarrollado los análisis modales de fallas y efectos a los críticos de operación en un sistema CHP, Empire Gas actualizó la orden de piezas que iban a solicitarse para reabastecer el inventario, especialmente en cuanto a los generadores; anteriormente se contaba con un inventario siguiendo las recomendaciones del fabricante, lo cual generaba gastos excesivos en piezas, espacio y maquinaria para poder manipularlas debido a las dimensiones y peso de estas.

Tabla 1. Análisis modal de fallas y efectos para generadores CHP

Componente	Modo de falla	RPN (S*O*D)
Motor de combustión	Sobrecalentamiento	324
Alternador	Pérdida de salida eléctrica	90
Intercambiador de calor	Fugas o pérdida de eficiencia	18
Sistema de control	Fallo de PLC o sensores	432
Sistema de combustible	Obstrucción en el suministro	63
Sistema de escape	Obstrucción o fuga	27

El fabricante recomienda contar con un inventario basado en muy alta criticidad y ocurrencia de fallas del motor de combustión. Determinar que los elementos con RPN más alto corresponde al sistema de control, redujo el costo de la orden de piezas para generadores en un 25%.

Tabla 2. Análisis modal de fallas y efectos para bombas centrífugas

Componente	Modo de falla	RPN (S*O*D)
Sello mecánico	Fuga de fluido	192
Cojinete	Desgaste o rotura	72
Impulsor	Corrosión o erosión	140
Motor eléctrico	Sobrecalentamiento	81
Eje	Desalineación o fractura	48
Carcasa	Fisura o rotura	80

Igualmente, se logró una reducción en el costo de la orden de piezas, debido a que el fabricante recomienda reemplazo de piezas que generan gastos excesivos. Con el análisis realizado se evidencia que se puede operar con una alta confiabilidad y disponibilidad, manteniendo en inventario únicamente sellos mecánicos, lubricante adecuado e impulsores.

Estrategias de motivación

El personal técnico fue enviado a talleres teóricos y prácticos para instruirse o reforzar disciplinas como soldadura, diagnóstico y reparación de equipos rotativos, reparación de calderas CHP.

Se determinó a través de las entrevistas y las encuestas que gran parte del personal administrativo no se encontraba desempeñando funciones para las cuales se habían preparado académicamente, donde la afirmación es ‘‘Las funciones que realizo en mi trabajo están relacionadas con mis estudios académicos’’.

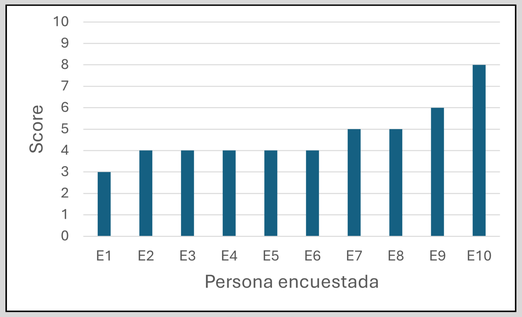

Figura 4
Resultado de encuesta sobre correspondencia entre funciones acutales y estudios académicos

Se decidió redistribuir funciones y responsabilidades entre el personal administrativo y gerencial de la compañía, sin afectar el tamaño actual de la nómina.

Conclusiones

La implementación de un sistema de distribución más eficiente permitió reducir el tiempo de entrega de mantenimientos correctivos y preventivos. Asimismo, el análisis de fallas en los sistemas CHP que atiende la compañía facilitó una optimización en las órdenes de piezas, lo cual redujo los costos operacionales y de inventario, al sustituir las recomendaciones genéricas del fabricante por criterios ajustados a las condiciones reales de operación. En cuanto a la motivación del personal, se identificaron factores clave que deben ser considerados en futuras decisiones administrativas, con el fin de mantener un equipo técnico y administrativo comprometido y estable.

Trabajo Futuro

Se enviará la misma encuesta dentro de 3 meses para dar seguimiento a los niveles de motivación del personal. La tasa de rotación de la empresa será evaluada posteriormente para evaluar la efectividad de las estrategias implementadas.

Referencias

[1] Empire Gas Company. Recuperado el 05/05/25 de: https://empiregaspr.com/

[2] Lozano, M.A., & Ramos, J. (2007). Análisis energético y económico de sistemas simples de cogeneración. Información Técnológica, 18(5), 75-84.

[3] Ramírez, C. (2018) Cogeneración con gas natural para aplicaciones a pequeña escala: Alternativas y prefactibilidad. Universidad de Chile. P. i.

[4] AIAG. (2008). AMFE: Análisis modal de fallas y efectos (4.ª ed.). Grupo de Acción de la Industria Automotriz.

[5] Di Antonio, A., & Delgado, M. (2010). La motivación laboral y su incidencia en el desempaño organizacional. Universidad Central de Venezuela.

[6] Locke, E.A., & Latham, G.P. (1990). Teoría de la fijación de metas y el desempeño en las tareas. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall