

PREDICTIVA²¹

COLAGA 2013
USO DEL PROGRAMA
LIFE CPR – COMSYS® PARA
LA SELECCIÓN DEL ACCIONADOR
Y EL ARREGLO ÓPTIMO
EN PLANTAS COMPRESORAS DE GAS
ISO 55000

10 AÑOS en CONSTANTE EVOLUCIÓN

CONECTAMOS EXPERIENCIA Y VISIÓN DE FUTURO



EMS Soluciones efectivas para la Gestión de Activos

¡Bienvenidos!

Con el objeto de promocionar y difundir la labor y el bien hacer en la Gestión de Activos, nace **Predictiva 21**, nuestra revista digital sobre mantenimiento, confiabilidad y gerencia óptima de activos. **Predictiva 21** se perfila como el más novedoso canal de difusión que abre sus páginas a los especialistas en la materia, y a toda la gran familia de ingeniería de confiabilidad.

En este primer número, ofrecemos a nuestro gran público de habla hispana varios trabajos de interés, centrados en la investigación sobre gestión de Activos, y varias propuestas acordes con la evolución de esta rama de la ingeniería. Presentamos además trabajos enfocados en temas de gran interés como toma de decisiones, selección óptima de trenes turbocompresores en plantas de gas natural, optimización de inventarios y gerencia de combustible, entre otros tópicos.

El equipo de **Predictiva 21** les da la más calurosa bienvenida a este nuestro primer número y la apertura de nuestra página web. Desde acá les acompañaremos en la apasionante aventura de construir nuevos y mejores puentes para expandir el conocimiento, la transferencia de tecnología y la difusión del saber que heredarán las generaciones de relevo.

Enrique González
Presidente

- 4** | Colaga 2013: Elevando la muesa
Reportaje
- 6** | Optimización de Inventarios de Partes y Repuestos para el Mantenimiento (I Parte)
Artículo Técnico
- 10** | II Congreso Latinoamericano de Gestión de Activos: Inteligencia colectiva y desarrollo empresarial
Reportaje
- 12** | Criterios Cualitativos en la Toma de Decisión
Artículo Técnico
- 16** | Uso Del Programa Life CPR – ComSys® Para La Selección Del Accionador Y El Arreglo Óptimo En Plantas Compresoras De Gas (I Parte)
Artículo Técnico
- 30** | ISO 55000: un giro de timón en la Gestión de Activos
Reportaje
- 32** | Eventos
Infografía
- 33** | Asociaciones de Mantenimiento Mundial
Infografía
- 34** | La Gerencia Del Combustible Como Elemento Clave en Centrales Térmicas a Vapor.
Artículo Técnico
- 40** | Evaluación Estructural por Elementos Finitos de la Silla de Volcado utilizada en plantas de Laminado en Caliente (I Parte)
Artículo Técnico

PREDICTIVA 21

Predictiva 21 no se hace responsable por las opiniones emitidas en los artículos publicados en esta edición. La línea editorial de esta publicación respetará las diversas corrientes de opinión de todos sus colaboradores, dentro del marco legal vigente.

Junta directiva

Presidente:
Enrique González

Director de Mercadeo:
Miguel Guzmán

Jefe de Información:
Alimey Díaz

Diseño y Diagramación:
María Sophia Méndez

Digitalización y web master:
Edgar Guzmán
Miguel Herrera
Elio Luces

COLAGA 2013: Elevando la muesca

La segunda edición del Congreso Latinoamericano de Gerencia de Activos ha supuesto un alto reto para AVEPMCO, luego de los logros de participación obtenidos en el 2011, año de la creación de esta organización, y siendo este congreso su primera actividad inicial. Gyogi Mitsuta, fundador de la organización e impulsor del congreso, amplía detalles sobre los preparativos, así como las grandes expectativas que rodean el evento.

1

-¿Qué espera lograr AVEPMCO con este segundo Congreso Latinoamericano de Gerencia de Activos?

-A diferencia del primer COLAGA en 2011, este segundo congreso tendrá lugar en la ciudad de Valencia, la cual elegimos como punto geográfico desde el cual seguir expandiendo el germen de la necesidad del Mantenimiento y la Confiabilidad como mecanismo de fortalecimiento a nuestro parque industrial; además de incrementar el radio de inherencia de AVEPMCO a nivel nacional. Evidentemente, esperamos superar la complacencia que obtuvimos de los asistentes, por lo que contamos con que en este nuevo esfuerzo superemos la participación del 1er Congreso en el 2011. Tenemos previsto incrementar el área de exhibición, el número de talleres y el área de presentación de las plenarias, manteniendo el estándar de selección de las ponencias.

-¿Cuáles son los temas centrales alrededor de los cuales gira este nuevo congreso y que trascendencia tienen en el marco de la industria mundial?

-En esta oportunidad estamos orientando la temática hacia tres vértices, la Confiabilidad Humana, la Sostenibilidad Industrial y la Eficiencia Energética. Contaremos con conferencistas internacionales de reconocida experiencia en los temas a exponer, entre los que podemos mencionar: confiabilidad humana, manejo energético a través de la gestión de activos y casos de éxitos de la gestión de activos, Análisis de Causa Raíz, Conservación de la Energía, Costo de Ciclo de Vida, Manejo de Repuestos, Planes de Mantenimiento, Estándares Industriales. Al igual que en el primer congreso, donde los ponentes contaron con una gran aceptación, esperamos que el esfuerzo que AVEPMCO imprime en la selección de los ponentes tanto internacionales como nacionales, complazca a todos los participantes.

2

3

-¿Qué resultados arrojó el I Congreso, efectuado en el 2011?

-El primer congreso nos sorprendió gratamente debido a la completa participación tanto del sector industrial, como de los propios profesionales asistentes al evento, logrando superar las expectativas de asistencia con más de 230 participantes a nivel nacional cada día del congreso, además de agotarse los cupos para los tres talleres pre-conferencias. Como uno de los servicios de AVEPMCO, al final del congreso se realizó el examen para la certificación internacional CMRP, obtenido por ocho profesionales presentes que contaban con la formación apropiada, y para lo cual COLAGA 2011 fue el escenario perfecto.

-En general, ¿qué beneficios ofrece COLAGA a los empresarios, inversionistas y profesionales del ramo?

-En cuanto a los empresarios e inversionistas es una oportunidad excelente, ya que en el evento se concentran profesionales relacionados a los diferentes sectores industriales específicamente en el área del mantenimiento, operación y confiabilidad industrial, ofreciendo un escenario único para impulsar sus propuestas de valor directamente a varios clientes actuales o potenciales de todo el sector en un breve lapso. Para los profesionales, conforme a nuestra orientación, obtendrán la experiencia de casos reales de las distintas metodologías, además de los beneficios que implica compartir con expertos sus inquietudes e interrelacionarse con profesionales de su misma área.

4



Optimización de Inventarios de Partes y Repuestos para el Mantenimiento (I Parte)

Muchas empresas a fin de garantizar el cumplimiento de los planes de mantenimiento para sus instalaciones y equipos, recurren a las altas inversiones en inventario de partes, repuestos y consumibles; desde luego, esto conlleva a la generación de altos costos operativos por procura, manejo, transporte y almacenaje de materiales requeridos para el mantenimiento.

Es de notar que esta situación se incrementa al pasar los años a medida que los equipos e instalaciones envejecen, convirtiéndose en una práctica poco objetiva dentro de la gestión del mantenimiento.

Por otro lado, la mayoría de las empresas llevan el inventario de mantenimiento dentro del inventario general de la compañía, esta práctica entorpece la gestión del mantenimiento, ya que a veces los objetivos de la organización de materiales distan con el alcance de los objetivos de la organización de mantenimiento.

Dentro de los puntos de afectación que

esta situación puede generar, se encuentran los siguientes:

- Diferimiento y reprogramación de planes de mantenimiento.
- Paros prolongados de plantas y equipos.
- Afectación de la Disponibilidad, Mantenibilidad y Confiabilidad.
- Elevan el valor del inventario y generan un inventario inactivo, inmovilizando valiosos recursos que podrían usarse de una manera más rentable.
- Procesos fuera de control.

Sin embargo, estos puntos pueden ser revertidos y controlados a través de la aplicación de las Mejores Prácticas Clase Mundial señaladas en la Gerencia de Activos, entre las cuales se establece la implementación de un Modelo de Optimización de Inventario de Partes y Repuestos para el Mantenimiento, que permita la integración física y sistemática de estas dos importantes funciones empresariales: Función Mantenimiento y Administración de Materiales.

Optimización de Inventarios de Partes y Repuestos para el Mantenimiento.

Es una metodología basada en la estadística, mediante la cual y con la aplicación de análisis determinísticos, estocásticos y probabilísticos, se puede determinar el nivel óptimo de inventario de partes y repuestos requeridos para que los activos cumplan con la función para los cuales fueron adquiridos dentro los parámetros de Clase Mundial de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.

Esta metodología viene a responder tres interrogantes presentes en toda gestión de materiales y repuestos en el área industrial que son requeridos para cumplir la ejecución del mantenimiento de los activos de la empresa:

- ¿Qué repuestos se deben pedir?
- ¿Cuántos repuestos pedir?
- ¿Cuándo se deben pedir?

Cada respuesta coadyuva a generar un escenario que garantiza la ejecución eficiente de los mantenimientos en el momento oportuno, disminuyendo los costos de penalización por equipos parados; y los costos de inversión por tener altos inventarios de partes y repuestos.

Objetivo de la Optimización de Inventarios

La Optimización de Inventarios, tiene como objetivo, la estimación del número óptimo de partes y repuestos que debe mantener en almacén una empresa para garantizar la máxima rentabilidad y el mínimo impacto en la continuidad operacional de sus plantas e instalaciones.

Entre los resultados más comunes que se obtienen al lograr el cumplimiento de este objetivo, se tienen los siguientes:

- Listados optimizados de partes y repuestos por equipos y por nivel de mantenimiento (BOM: Bill Of Materials).
- Catálogos de partes y repuestos para los equipos.
- Optimizar los registros de ítem catalogados en el sistema computarizado de inventario de la empresa.
- Establecer políticas y estrategias para la gestión de inventarios.
- Integración entre las funciones de la Organización de Mantenimiento y la Organización de Materiales.
- Incremento a niveles Clase Mundial de los indicadores de Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad de los activos empresariales.

- Identificar y establecer estrategias y convenios con los proveedores de partes y repuestos.
- Optimizar y controlar los costos operativos y de mantenimiento.
- Expectativas de ahorros en inventarios entre 10% – 30% (indicadores Clase Mundial).

Al aplicar la metodología se pueden detectar una serie de causas y consecuencias comunes que afectan los procesos cotidianos de las empresas:

- Uso inadecuado y desmedido de los sistemas de inventario.
- Catalogación y descripción inadecuada de los ítems registrados en el inventario.
- Repetición de códigos y números de parte de los repuestos.
- Inconsistencia en las unidades de medida.
- Lista de partes incompletas en los equipos.
- Diferimiento y reprogramación de los Planes de Mantenimiento.
- Paros prolongados de equipos y plantas.
- Incremento en la tasa de fallas.
- Afectación de la Mantenibilidad, Disponibilidad y Confiabilidad.
- Incremento en el valor del inventario de partes y repuestos.
- Incremento en el inventario inactivo.
- Procesos fuera de control.

Modelo de aplicación.

Al describir un modelo para aplicar la metodología se estaría entrando en un campo de mucha complejidad, ya que no existe un modelo definido de aplicación, debido a que en este tipo de análisis intervienen muchas y complejas variables, diferentes escenarios de acción. Inclusive, entran en juego, diferentes tipos y políticas de inventarios, tipos de negocio (servicio, producción y/o distribución de bienes o productos). En la Figura 1 se muestra un modelo ejemplo de optimización de inventario de partes y repuestos para el mantenimiento.

Se puede señalar que una parte compleja de un modelo es precisamente la definición lo más precisa

posible, de los costos involucrados en el manejo de inventarios, si se calculan objetivamente, el modelo dará los resultados válidos así no sean absolutamente exactos, el objetivo del modelo no es minimizar uno de estos costos, ya que su comportamiento es inverso y en caso de minimizar uno solo de ellos, el otro se dispara por lo que los costos asociados serán más altos, lo importante es minimizar la suma de los costos de pedir y de mantener, lo que se conoce con el nombre de costo asociado.

En la Figura 2, se observa como dicho costo en los valores cercanos al mínimo, no cambia considerablemente, sin embargo si nos alejamos de este los costos pueden incrementarse de forma importante, por lo que la idea consiste en pedir un valor muy cercano a la cantidad económica de pedido.



Figura 1. Un modelo de Optimización de Inventario



Figura 2. Gráfica de Optimización de Inventarios.

Análisis ABC.

El análisis ABC es una manera de clasificar los productos de acuerdo a criterios preestablecidos, la mayor parte de los textos que manejan este tema, toman como criterio el valor de los inventarios y dan porcentajes relativamente arbitrarios

para hacer esta clasificación. Por ejemplo, el 20% de los productos representan el 80% de las compras de la empresa por lo tanto esta es la zona A, un 30% de los productos el 15%, que serían los que están ubicados en la zona B, el resto (50% de los productos y 5% de las compras) son productos C (Ver Figura 3).

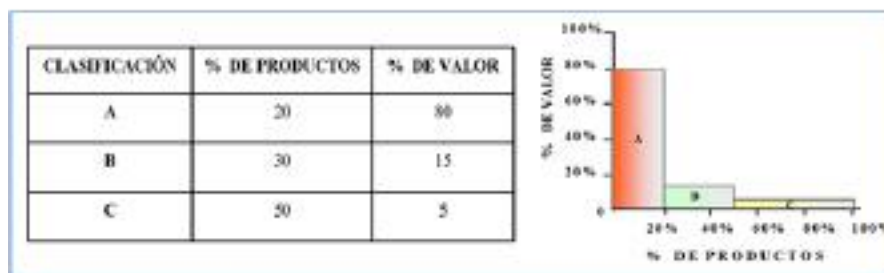


Figura 3. Clasificación de Inventarios aplicando Análisis ABC.

Continuará 2da. Parte en la próxima edición

Referencias Bibliográficas.

- Cálculo de repuestos críticos - John Woodhouse
- Procedimiento para Mantener Máximos y Mínimos de Bienes en Almacenes de la Gerencia de Obras y Conservación. - Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México, S.A. de C.V. – Octubre 2002.
- Una Aproximación a los Modelos de Inventarios – Teoría de Inventarios - www.investigacion-operaciones.com/modelo_inventarios.htm – Agosto 2013.
- Modelo de Planificación y Control de Inventarios para Mantenimiento – Ing. Alfredo J. Leal M.- Universidad del Zulia - Febrero de 2004

Breve Reseña del autor

Custodio José De Piño Brito

- Ingeniero de Sistemas. U.B.A., 1991-1996, Maracay, Venezuela.
- T.S.U. en Informática. IUTIRLA, 1990 -1993, Maturín, Venezuela.
- Mantenimiento Mecánico. INAPET (CIED), 1977-1979 Anaco, Venezuela.

II Congreso Latinoamericano de Gestión de Activos: Inteligencia colectiva y desarrollo empresarial

La segunda edición de Colaga para el año 2013 fue el punto de encuentro propicio para el intercambio científico y técnico entre los más renombrados profesionales del ramo de la Gestión de Activos. La institución organizadora, Avepmco, planea efectuar el congreso con frecuencia anual.

Siguiendo con el cronograma de eventos organizado por Avepmco, la Asociación Venezolana de Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad, el pasado mes de octubre tuvo lugar el II Congreso Latinoamericano de Gestión de Activos, COLAGA 2013, en el cual se dieron cita las empresas más prominentes del ramo de ingeniería de mantenimiento y gestión de activos, quienes cumplieron a su vez con un nutrido programa de exposiciones, foros, talleres y conferencias. En los elegantes espacios del Hotel Hesperia de Valencia, conferencistas, expositores y observadores expusieron los últimos adelantos de la compleja temática de la gestión de activos, centrandose parte de sus propuestas en el cambio de actitud de cuerpos gerenciales y trabajadores, a fin de lograr el salto que supone cambiar el mantenimiento reactivo por el predictivo, y todos los beneficios que se desprenden de este último.

Orquestado por Gyogi Mitsuta, presidente de Avepmco, el evento estuvo dirigido a fomentar espacios de discusión y propuestas en torno a la gestión

de activos, piedra angular del mantenimiento industrial en la actualidad. Según Mitsuta este encuentro, al igual que el anterior, procura estimular a la industria manufacturera nacional hacia la adopción de nuevos paradigmas de éxito en función del mantenimiento, en este caso el mantenimiento predictivo y la gestión de activos, como una mejor fórmula para resultados óptimos. "Como organización tenemos previsto lanzar seminarios, para este año y para el año entrante, a la par de cursos de preparación para el examen de certificación internacional de la SMRP"- destacó el presidente de Avepmco.

El logro del establecimiento del mantenimiento predictivo y la gestión de activos en general como piedra angular del éxito de cualquier empresa, fue ampliamente debatido durante toda la jornada, y varios expositores coincidieron acerca del tópico en el cual se afirma que la formación del personal y el cambio de conducta es básico para implementarlo. Este punto de inflexión que marca el cambio de paradigma y, con ello, el futuro de una

empresa, fue brillantemente expuesto por Eduardo Cote, gerente de entrenamiento de GE para América Latina, cuya conferencia, M&C como Herramienta para la Gestión Productiva de los Activos Físicos, abordó puntos álgidos sobre cómo y por qué las empresas y sus directivos reaccionan ante las fallas de los equipos, y el actual desfase entre la prevención y la planificación. Según Cote, "unos cuantos profesionales utilizan las herramientas Bentley Nevada para enviar información de Mantenimiento Predictivo, pero nadie las ejecuta, y eso es lo que se conoce como el círculo vicioso del mantenimiento reactivo. El ideal debería ser planificar, pero, con las excepciones de rigor, la mayoría de los planificadores suelen planificar el desastre, toman decisiones en base a lo que ya aconteció. Y es que la planificación ha de ser proactiva, ha de anticiparse a los eventos, y muy especialmente a la rotura de equipos cuyos repuestos se encuentran, casi invariablemente, en otro país". Para Eduardo Cote, el mantenimiento de una máquina rotativa se planifica proactivamente cuando se hace uso de la información

proveniente de la aplicación de las herramientas de Mantenimiento Predictivo, aún cuando en un principio, todo cambio de paradigma genera trauma y estrés.

Por su parte Jorge Romero, ingeniero de Aplicaciones y especialista en Soluciones para Mantenimiento basado en Condiciones, ofrece otras luces acerca de esta resistencia al cambio, que ha impedido el paso total del mantenimiento reactivo al predictivo: pese a todas las ventajas que implica, la mayoría de las empresas centra sus preocupaciones y esfuerzos en la producción, y no en el mantenimiento.

Petróleos de Venezuela, holding estatal petrolero, también estuvo presente en el evento. El ingeniero Luis Martínez, gerente de Confiabilidad de la División Oriente de PDVSA, manifestó que esta segunda edición de Colaga es una excelente oportunidad para el intercambio de experiencias, conocer nuevas tecnologías y propiciar el intercambio de ideas entre todos los participantes. *"Estar al tanto de las nuevas tendencias de mantenimiento y confiabilidad es muy importante para cualquier industria"*, refirió el ingeniero Martínez, quien aprovechó la ocasión para hacer extensiva la invitación a participantes de todo el orbe. Por su parte Humberto Mota, superintendente de Mantenimiento en Jusepín, destacó lo oportuno del evento, como punto de encuentro para todas las empresas de servicio y mantenimiento, y la dinámica que se desprende de este compartir de saberes y propuestas. *"Es muy importante que se inviten a todas las empresas, a todas las universidades, el sector privado, los organismos gubernamentales, porque es lo que permite fortalecer y expandir estas experi-*

encias, que nos favorecen a todos" –destacó Mota.

Fiel a su lema de Impulsar el Desarrollo a Través de la Inteligencia Colectiva, este segundo congreso organizado por la Asociación Venezolana de Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad agrupó conferencias y talleres basados en tópicos de interés. Algunas de estas conferencias fueron Confiabilidad Humana: Cómo implementar una estrategia de mejora en un ambiente altamente reactivo (David Trocell, GTS Confiabilidad), Integración y Motivación de Equipos de Alto Desempeño (Marcus Tobia, Proyecto Cumbre), Análisis Causa Raíz. Fallas recurrentes del sistema de distribución eléctrica de un campo petrolero (Héctor Díaz, REPSOL), Estrategias de Mantenimiento para turbinas a gas empleadas en la industria petrolera para la generación eléctrica (Osberto Díaz, E&M Solutions), entre otras. A su vez los talleres, que giraron alrededor de las normas ISO y confiabilidad humana, agruparon a un gran número de profesionales y empresarios. El examen de certificación SMRP cerró el evento.



Eduardo Cote - Gerente de entrenamiento de GE para América Latina



Ing. Luis Martínez - Gerente de Confiabilidad de la División Oriente de PDVSA



Humberto Mota - Superintendente de Mantenimiento en PDVSA Jusepín



El equipo de PDVSA presente en Colaga 2013



Osberto Díaz, de E&M Solutions, diserta en el evento



Enrique González, directivo de E&M Solutions, en primer plano durante una de las conferencias de Colaga 2013




Gyogi Mitsuta - Presidente de Avepmco



Público asistente



Autor(a):
Alimey Díaz Martí

A close-up photograph of a hand moving a dark chess piece on a wooden chessboard. The board has a checkered pattern of light and dark squares. Other pieces are visible in the background, some in focus and some blurred. The lighting is warm, highlighting the texture of the wood and the hand.

Criterios Cualitativos en la Toma de Decisión

El objetivo de algunos estudios de confiabilidad operacional, es planificar o programar las decisiones de eventos pre-visualizados "...para que el activo continúe haciendo lo que el usuario quiera que haga..." (Moubray, 1997), a través de planes, procedimientos, instructivos y manuales. Dichos estudios también persiguen suministrar información cuantitativa a la gerencia, que les sirva para tomar las decisiones durante la operación y mantenimiento de las instalaciones de una organización. Sin embargo, para tomar las "mejores" decisiones se necesita tener habilidad, buena intuición, experiencia en el tema, conocimientos básicos de economía, estadística y psicología. Así como, de ser necesario, apoyarse en algunas técnicas de toma de decisión, que también permitan considerar los criterios cualitativos. Esta puede ser, sin dudas, una de las actividades más difíciles para un gerente.

Las decisiones pueden ser tomadas en base a uno o múltiples criterios. En la gerencia se toman decisiones de hacer o comprar, realizando una simple comparación entre ambos costos y seleccionando el menor. En este caso, la decisión es tomada en base a un solo criterio: el dinero. Un ejemplo típico es hacerse la siguiente pregunta, ¿será mejor subcontratar la ingeniería del diseño, o crear una oficina de ingeniería para diseñarla internamente? y probablemente la respuesta solo tome el criterio del costo. Si se decide subcontratar, entonces ahora se debe seleccionar la consultora, y en este caso pueda que otros criterios tales como la ubicación, experiencia y certificaciones sean importantes. De ser así, estaremos frente a una decisión de múltiples criterios. (Osuna, 2010b)

Otro aspecto a considerar es, si las decisiones son individuales o grupales. Por esta razón, un buen analista de decisiones necesita conocer las diferentes teorías de preferencias individuales y de grupo, tales como las de Von Neumann y Morgenstern para el estudio de las preferencias individuales, y de Kenneth Arrow para el estudio de las decisiones colectivas. (Osuna, 1991)

Debido a todo lo considerado y sus implicaciones psicológicas, tomar decisiones resulta estresante. Y la primera reacción intuitiva de cualquier persona es tratar de "transferir" esta responsabilidad. Frases como "elige tú", "lo que tú quieras" y "tú eres el experto", son típicas de alguien que pretende transferirle la toma de decisión a otro. De hecho, es común que los gerentes convoquen reuniones para buscar consenso de grupo, sobre las decisiones que pudieron haber tomado solos. Como no siempre se puede transferir a otras personas, el ser humano se las ha ingeniado para tratar de trasladar esta responsabilidad a una gran cantidad de "objetos del destino" como una moneda, el tarot, los caracoles, los oráculos y otros un poco más exóticos como el I-Ching, el tradicional oráculo chino. De esta forma, si algo sale mal sería culpa del objeto, del destino o de los designios de la vida. Pero cuando es imposible pasar a otras personas u objetos la responsabilidad de la decisión, es importante poder justificarla ante terceros, sustentándola con toda la información disponible en el momento. Para esto, sería necesario estar respaldado con el uso de un proceso de toma de decisión "apropiado", que permita el uso de la tecnología para organizar la información y tomar "mejores" decisiones. Si el proceso se realiza de forma apropiada y el resultado de la decisión no fue el esperado, no podría-

mos decir que fue una mala decisión, pero si podremos afirmar que fue una decisión desafortunada. (Osuna, 2010a)

Para evitar caer en el mar de la indecisión, actualmente existen técnicas de análisis de toma de decisiones complejas, basados en matemáticas y psicología, como el Analytic Hierarchy Process (AHP) y el Analytic Network Process (ANP). Ambas desarrolladas por Thomas L. Saaty, permiten el uso de múltiples criterios cuantitativos, cualitativos y subjetivos, aplicables a decisiones individuales y grupales.

Tanto el AHP como el ANP, cuantifican los datos cualitativos y subjetivos, a través de una matriz de comparación de pares, en la cual son comparadas, de manera arbitraria, las diferentes alternativas evaluadas en cada criterio considerado. En esta técnica se le pide a cada decisor que ordene según sus incentivos, conocimientos, experiencias, intuiciones, sesgos, miedos, preferencias, etc. cuál alternativa es mejor o peor según un determinado criterio.

En el modelo AHP primero se fija el objetivo de la decisión, Ej. Comprar una turbina. Se definen y jerarquizan los criterios y sub-criterios que consideremos suficientes y/o necesarios para tomar una mejor decisión y se establecen las posibles alternativas, como se ejemplifica en la Figura 1. Se sabe que

para comprar una turbina hacen falta considerar muchos más criterios, pero para simplificar la ilustración solo se tomaron dos criterios y cuatro sub-criterios, así como solo tres alternativas. Luego se calcula la prioridad, importancia relativa o peso relativo de los criterios y sub-criterios, así como el de cada alternativa en cada criterio, de tal forma que la sumatoria de estos pesos sea igual a uno.

Para los criterios cualitativos como la ingeniería, el fabricante y la marca de la turbina, se usa el juicio de expertos y matrices de comparación por pares. Para los criterios cuantitativos como confiabilidad, disponibilidad y tiempo de entrega, solo se normalizan los valores que corresponden a cada alternativa. Se multiplica la matriz de criterios con la de los sub-criterios y se obtienen los pesos relativos o beneficios de cada alternativa, en este caso la Turbina 2 es la que ofrece el mayor beneficio. Se normalizan los costos de cada alternativa y con la información anterior se calculan las relaciones de costo/beneficio, priorizando de menor a mayor. Se hacen análisis de sensibilidad para mejorar los criterios de algunas alternativas y seguir comparando hasta llegar a un resultado satisfactorio. Y finalmente, en caso de ser dos o más decisores, se toma en cuenta el peso sobre la decisión que tiene cada uno de los decisores, para luego someter a votación cada alternativa. (Saaty, 1980 y 1995)



Figura 1. Árbol jerárquico de un modelo de toma de decisión con AHP

El AHP es más fácil de comprender porque el proceso es en una sola dirección, de arriba hacia abajo o de izquierda a derecha como se muestra en la Figura 1. Mientras que en el ANP se complica más el proceso porque reconoce la existencia de retroalimentación entre los elementos de los diferentes niveles de la jerarquía y también entre elementos del mismo nivel, por lo cual es necesario que los elementos de decisión sean organizados en redes de grupos y nodos. Para este tipo de análisis el dinero debe ser tomado en cuenta solo al final, de lo contrario se puede obtener un análisis con criterios sesgados por los precios. Para conocer más sobre la técnica ANP, se recomienda leer "Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks" (Saaty 2005).

Estos análisis decisiones son realizados para tomar nuestras propias decisiones o para ayudar a otros a tomarlas, en el segundo caso es el decisor el que finalmente deberá tomar la decisión y no el analista. Puede ser que el decisor, previamente, ya se había inclinado por una alternativa, de acuerdo a su intuición y experiencia, pero quería asegurarse de que no fuera la peor, aunque tampoco fuera la mejor. Volviendo al ejemplo de la turbina, probablemente el gerente, consciente de los costos de transacción que genera el uso de otra marca (como capacitación del personal, disponibilidad local de asistencia técnica y de proveedores de repuestos), ya se había inclinado por la misma marca de la turbina que está en operación actualmente, pero quería asegurarse que esta opción aún estaba dentro de las mejores alternativas. Finalmente, se recomienda que la complejidad del proceso de toma de decisión sea acorde a la magnitud del caso. Si queremos hacer una actividad de todos los días, basta con nuestra intuición y experiencia; si hay que comprar algo similar o igual a un commodity, basta con un análisis de precios; si son dos criterios a evaluar, usamos relaciones sencillas como costo/beneficio o similares; si son más de dos criterios y todos los criterios son cuantitativos, utilizamos los modelos matemáticos y estadísticos conocidos; si también involucra criterios cualitativos y subjetivos, usamos un modelo AHP; si

deseamos algo más complejo que amerite retroalimentación entre los criterios, podemos utilizar un modelo ANP; y si tenemos el tiempo y el dinero para algo mucho más sofisticado, vinculamos un modelo AHP o ANP con todas las bases de datos que afecten las decisiones de la organización en tiempo real.

Referencias Bibliográficas

1. Moubay, J. (1997) *Reliability-Centered Maintenance (RCM)*. Segunda edición. Industrial Press Inc. New York.
2. OSUNA, E.E. (1991). *La decisión en grupo: el problema de la elección de un comité*. (mimeo), Caracas: IESA.
3. OSUNA, E.E. (2009). *Decisiones bajo incertidumbre: el modelo de la utilidad*. (mimeo). Caracas: IESA.
4. OSUNA, E.E. (2010a). *Algunas consideraciones sobre la naturaleza del discernimiento humano y la toma de decisiones*. Caracas: IESA.
5. OSUNA, E.E. (2010b). *La Decisión Multidimensional: El Modelo Aditivo*. Caracas: IESA.
6. SAATY, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill.
7. SAATY, T.L. (1995) *Decision Making for Leaders*. Pittsburg: RWS Publications.
8. SAATY, T.L. (2005) *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*.

Ing. José Antonio Salazar, MBA, PMP
 Director General
 CENTRAL Soluciones Globales, C.A.
 Email: jose.salazar@centralgs.com

SiM

INGENIERÍA GESTIÓN DE ACTIVOS CONFIABILIDAD MONITOREO DE CONDICIÓN

**PROVEEMOS SOLUCIONES ORIENTADAS
A MEJORAR LA SEGURIDAD, RENDIMIENTO,
CONFIABILIDAD Y COSTOS DURANTE
EL CICLO DE VIDA DE SUS ACTIVOS**



$P=4кВт$
 $n=1400об/мин$

Soluciones de Ingeniería
y Mantenimiento, S.L.
Paseo de la Castellana,
95, 15ª 28046
Madrid ESPAÑA
www.sim-sl.com
+34 914 185 070
+34 917 577 400
info@sim-sl.com



Uso Del Programa Life CPR – ComSys[©] Para La Selección Del Accionador Y El Arreglo Óptimo En Plantas Compresoras De Gas

Este artículo presenta el proceso de evaluación técnico económico que debe ser tomado en cuenta para la selección del tipo de accionador, el tamaño y el número óptimo de trenes en plantas compresoras de gas natural, durante la fase de conceptualización de nuevos proyectos. Técnicamente se verifica que los equipos sean capaces de satisfacer el servicio, y económicamente se jerarquizan las opciones por sus costos de ciclo de vida y las pérdidas de oportunidad causadas por los paros programados y no programados en el horizonte económico. Se introduce además las bondades del programa Life CPR – ComSys © (Life Cycle Cost, Procution and Reliability), desarrollado en Visual Basic Application, que facilita el cálculo de las variables técnicas y económicas necesarias para jerarquizar las opciones. Finalmente, se muestra un caso en el que la escogencia del arreglo fue facilitada por el uso del programa computarizado, lográndose reducir el esfuerzo y el tiempo de evaluación en un 35%.

Cada año las empresas relacionadas al negocio del gas definen sus planes de negocio y proyectan sus requerimientos de inversión, operación y mantenimiento para cumplir con sus compromisos de producción. En el caso particular de la compresión del gas, y más específicamente de los centros o plantas compresoras, se hace imperativo revisar la infraestructura de compresión existente para definir las necesidades futuras que satisfagan el plan. Una revisión adecuada debe incorporar especialistas en equipos rotativos, proceso, electricidad, confiabilidad, operación de plantas, mantenimiento, estimación de costos y evaluación económica, pero las limitaciones de tiempo y esfuerzo no siempre lo hacen posible.

La selección de la estrategia

para satisfacer el plan de negocios queda definida por un análisis técnico económico. Técnicamente se verifica que el accionador y los compresores sean capaces de satisfacer la demanda. Se considera además la experiencia previa en su uso (confiabilidad y disponibilidad), el parque de repuestos existente, los centros de servicio disponibles, los requisitos ambientales y la sincronización de mantenimientos entre máquinas, entre otros. Es de esperar sin embargo que múltiples estrategias operacionales satisfagan estos requerimientos, razón por lo cual deben jerarquizarse económicamente para identificar la opción que aporta más valor.

Para la evaluación y jerarquización económica de opciones se requieren conocer los valores descontados de las nuevas inversiones (estimado

clase V ó IV), alquileres, consumo energético (gas combustible ó electricidad), costos de operación y mantenimiento y las pérdidas de oportunidad ó penalizaciones por paros programados y no programados en el horizonte económico.

El programa Life CPR – ComSys, desarrollado en Visual Basic Application con interfase Excel para la entrada y salida de datos, facilita el cálculo de las variables técnicas y económicas necesarias para jerarquizar las opciones. Debe aclararse que a pesar de la automatización, la herramienta todavía requiere de un proceso interactivo con el usuario para el planteamiento de opciones posibles, y es por ello que la misma debe ser manejada por personal con experiencia en infraestructura de compresión de gas.

EL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ilustraremos el planteamiento del problema con un ejemplo bastante general, representado en la Fig. 1. El requerimiento de compresión es un perfil no uniforme que asciende desde 100 MMscfd en el año 2004, hasta 355 MMscfd en el año 2016. Después de esa fecha, el mismo descendente progresivamente hasta alcanzar los 200 MMscfd en el año 2024. Al inicio se tiene una capacidad de compresión instalada de 140 MMscfd, 60 MMscfd de los cuales corresponden a equipos alquilados y 80 MMscfd a equipos propios. El contrato de alquiler vence en el año 2009 y uno de los equipos propios cumple treinta (30) años de operación en el año 2012.

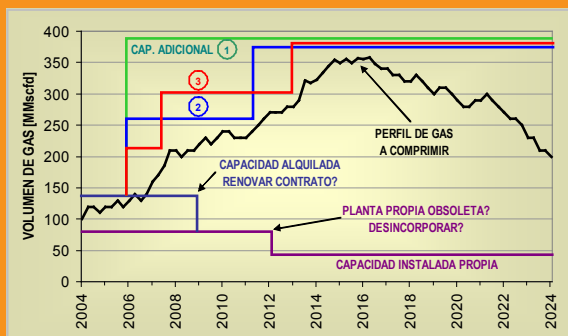


Fig.1.- Requerimiento de Compresión de Gas – Caso General

El grupo de trabajo que tiene a cargo el estudio enfrentará un sin número de interrogantes que deben ser abordadas en forma apropiada para darles respuesta. Algunas de esas preguntas son:

- Debe crecerse con plantas individuales ubicadas en la fuente del gas o deben concentrarse las operaciones en centros de compresión?
- Conviene tener pocos trenes de gran tamaño (opción 1, Fig. 1) o muchos pequeños (opción 3, Fig. 1)?
- En que fechas deben incorporarse los nuevos trenes?
- Cuando un tren puede considerarse obsoleto y debe ser desincorporado?
- Conviene extender los contratos de

alquiler existentes o es mejor comprar los equipos al finalizar el contrato? Conviene sustituirlos por equipos nuevos propios?

- La capacidad de compresión adicional debe ser propia o alquilada? Quizá una combinación?
- Se justifica compresión de respaldo? Conviene un respaldo rodante (todas las unidades operan a carga parcial y sólo operan a máxima capacidad cuando una unidad sale de servicio) o en "standby" (se enciende la unidad parada sólo cuando otra sale de servicio).
- Qué tipo de accionador debe seleccionarse, motor eléctrico, turbina a gas, motor de combustión interna?
- Qué tecnología de compresión debe seleccionarse, recíprocante o centrífuga?

POSIBLES ARREGLOS DE LOS TRENES DE COMPRESIÓN

Existe una gran diversidad de arreglos de compresión posibles, siendo los más comunes: arreglos en serie, en paralelo y mixtos serie-paralelo. El volumen total de gas a manejar y la relación de compresión, aunados a otros tantos factores, son determinantes en la escogencia del arreglo.

Arreglo en Serie

El arreglo de trenes en serie (Fig. 2) es poco común pero suele encontrarse cuando la relación de compresión es bastante grande como para ser manejada por un solo tren. La disponibilidad operacional y la capacidad efectiva de este arreglo es siempre menor que la de cualquiera de sus Trenes. La indisponibilidad del arreglo viene dada por la suma de las indisponibilidades de cada tren menos la probabilidad de que dos o más trenes estén fuera de servicio simultáneamente.

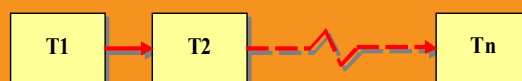


Fig.2.- Arreglos de Trenes en Serie

Arreglo en Paralelo

Este arreglo (Fig. 3) es el más usado. Permite manejar volúmenes de gas en un amplio rango, con relaciones de compresión moderadas. A diferencia del arreglo en serie, la disponibilidad operacional y la capacidad efectiva del sistema es siempre mayor o igual a la de sus componentes individuales. Aquí la indisponibilidad de un componente sólo merma la capacidad del sistema en una fracción que es proporcional a la capacidad relativa del componente dentro del sistema. El número y tamaño óptimo de trenes queda definido por el análisis financiero y la mínima capacidad efectiva que se fije como meta.

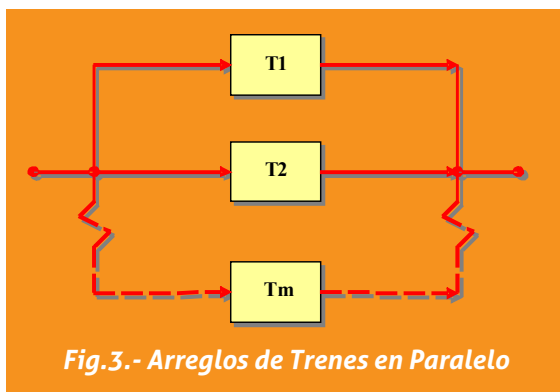


Fig.3.- Arreglos de Trenes en Paralelo

Arreglo Mixto (Serie-Paralelo)

Los arreglos mixtos también son comunes en la industria, aunque sólo algunos pocos compiten en disponibilidad operacional y economía con los arreglos en paralelo. Un arreglo de compresión como el mostrado en la Fig. 4, con una primera etapa de n trenes en paralelo de capacidad Q conectados a una segunda etapa de n trenes en paralelo de igual capacidad, tiene una disponibilidad inferior a la de una única etapa de n trenes en paralelo de capacidad Q .

Dos razones contribuyen a este hecho, a saber:

- La indisponibilidad de uno de los trenes de la primera etapa provoca la salida forzosa de un tren de la segunda etapa, pues la masa manejada por etapa debe mantenerse constante (ley de conservación de la masa). Lo inverso, paro de un tren de segunda etapa que deshabilita automáticamente un tren de la primera, también aplica.

- La probabilidad de paro de un tren de primera etapa más la probabilidad de paro de un tren de segunda en el arreglo mixto es mayor a la probabilidad de paro de un solo tren en el arreglo paralelo, asumiendo que los trenes son de tecnología similar.

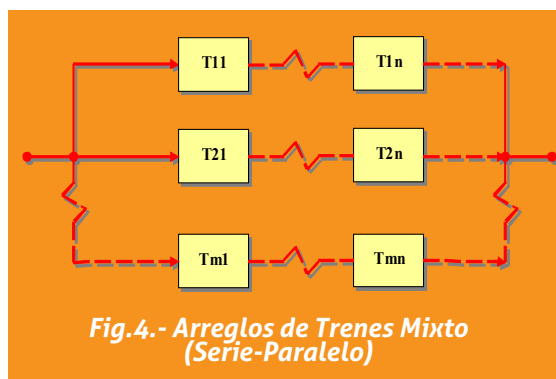


Fig.4.- Arreglos de Trenes Mixto (Serie-Paralelo)

A pesar de esto, los esquemas híbridos deben ser considerados cuando los equipos compresores de las diferentes etapas de compresión se desean de tecnología diferente. No es conveniente, por ejemplo, acoplar un compresor centrífugo y uno reciprocante a un mismo accionador. Un punto a favor de un arreglo mixto centrífugo-reciprocante, no obstante, es el mejor aprovechamiento de la energía. Los compresores centrífugos tienen eficiencias muy buenas para flujos relativamente altos y presiones bajas o intermedias, pero son ineficientes a bajo flujo ó alta presión. Los reciprocantes por su parte pueden ser hasta un 10% más eficiente que los centrífugos a altas presiones, pero a bajas presiones manejan muy poco flujo másico. La combinación de centrífugos a baja presión y reciprocantes a alta presión aprovecha las bondades de cada tecnología, aunque el beneficio neto sobre la economía del proyecto se ve mermado por su menor disponibilidad.

TIPOS DE ACCIONADORES

La Fig. 5 muestra los resultados de un censo realizado en el año 2002 a una población de 350 trenes compresores de gas natural, asociados a la exploración y producción de crudo en

Venezuela. El conjunto de trenes suma una capacidad instalada de 12650 MMscfd con una potencia en sitio de 2.76 Millones de Hp. De estos, el 49% es accionado por motores de combustión interna a gas (MG), 47% por turbinas a gas (TG) y el 4% restante por motores eléctricos (ME). En términos de potencia y capacidad de compresión, sin embargo, las TG's representan el 88% y 82% respectivamente, quedando la diferencia distribuida entre los MG's y ME's.

Este favoritismo por los accionadores a gas en Venezuela ha sido motivado principalmente por dos razones:

- El bajo precio de oportunidad que ha tenido históricamente el gas combustible en Venezuela, en comparación con el valor internacional.
- La ubicación de las instalaciones en áreas remotas donde no existe infraestructura eléctrica cercana, y la inversión para incorporarla supera los potenciales ahorros que pudieran generarse con los accionadores eléctricos.

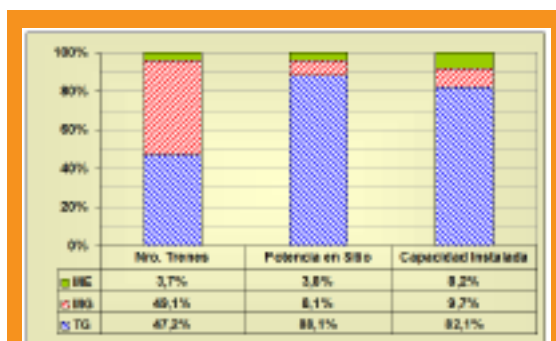


Fig.5.- Distribución de Accionadores de Trenes Compresores (Venezuela)

Esta enorme diferencia entre el número de accionadores a gas y eléctricos es similar en otras partes del mundo, pero como lo muestra el survey de la Fig. 6 (fuente: 1999 BSI/Compressortech Magazine Survey), la tendencia es hacia el incremento de los accionadores eléctricos.

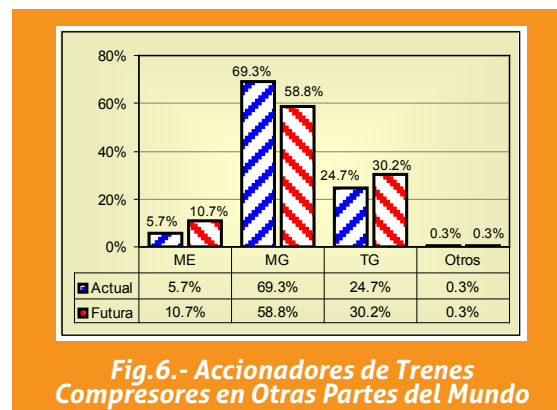


Fig.6.- Accionadores de Trenes Compresores en Otras Partes del Mundo

Debe aclararse que la selección del accionador es al final un ejercicio económico, pues cualquiera de ellos está técnicamente apto para suplir la potencia requerida en un servicio de compresión. En otras palabras, el ejercicio está en encontrar el tipo de accionador y el tamaño y número óptimo de trenes que satisfacen un servicio de compresión. A continuación se mencionan algunos aspectos relevantes, ventajas y desventajas de cada accionador.

Motor Eléctrico (ME)

Entre sus ventajas destacan la sencillez de construcción y su alta eficiencia convirtiendo la energía la cual puede ser superior al 93%, considerando incluso las pérdidas por transformación de voltaje y por filtros armónicos. También destacan su alta disponibilidad (usualmente cercana al 99%), sus bajos costos de mantenimiento y niveles de inventario de repuestos. A diferencia de las turbinas y los motores de combustión interna, la eficiencia y potencia al eje de un motor eléctrico son poco afectadas por las condiciones ambientales, el ensuciamiento y/o el envejecimiento por uso. A lo anterior podemos sumar sus ventajas ambientales, pues no producen emisiones contaminantes, ruidos elevados ni calientan el ambiente.

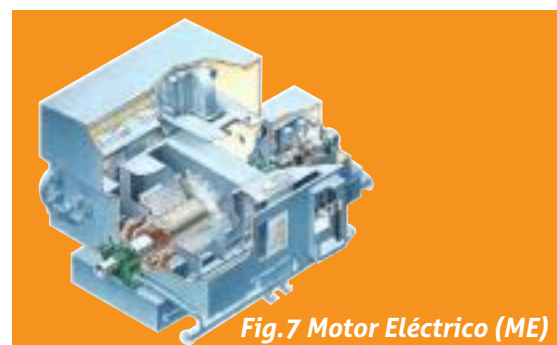
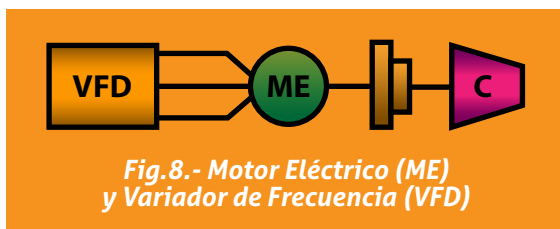


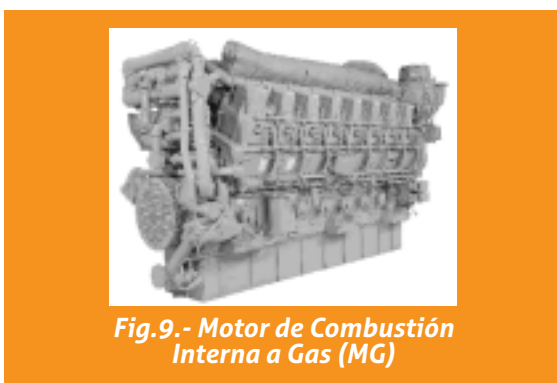
Fig.7 Motor Eléctrico (ME)

En servicios de inyección de gas puede requerirse que el motor eléctrico se acople a un variador de frecuencia (VFD, Fig. 8). Ello da flexibilidad operativa a los compresores para absorber eventos transientes como lo son arranques, paros, variaciones en la presión y temperatura de succión, composición de gas, etc. El costo típico de uno de estos variadores es comparable al costo del motor, por lo que su uso debe justificarse apropiadamente. No se prevén limitaciones técnicas en lo que al tamaño del motor y variador se refiere, pues existen aplicaciones exitosas con ambos equipos incluso por encima de los 50MW (67.000 Hp).



Los accionadores eléctricos resultan atractivos en el oriente venezolano, por la cercanía a los centros de generación hidroeléctrica. No obstante las ventajas ya expuestas, el costo actual del gas (800-1200 \$/MMscfd) y de la electricidad (0.022-0.030 \$/Kwh), usados en las evaluaciones financieras de nuevos proyectos, pueden inclinar la balanza hacia el uso del gas si los costos de la infraestructura eléctrica resultan elevados.

Motor de Combustión Interna a Gas (MG)



Los motores de combustión interna son máquinas de movimiento alterno ampliamente

usados en la compresión y transporte del gas natural. Por lo general se paquetizan con compresores recíprocos, aunque también pueden combinarse con centrífugos. En Venezuela su uso se extiende a más de medio siglo y gracias a que su tecnología a variado poco en el tiempo, existe en el país una importante infraestructura y pericia calificada para la ejecución de mantenimientos rutinarios, overhauls y recuperación de componentes. Una desventaja es el alto número de componentes que debe mantenerse en inventario para garantizar su operación continua. Igualmente, las elevadas cargas y exigencias mecánicas a las que están sometidos sus componentes móviles limitan la velocidad de giro al rango 300-1400 RPM, y con ella la potencia al eje que son capaces de entregar. Es por ello que el incremento de potencia se logra principalmente aumentando el número y/o el volumen de los pistones, o lo que es lo mismo, el tamaño y peso de la máquina. Su gran tamaño, peso y la magnitud de las fuerzas alternas que en él se generan, exige fundaciones voluminosas y costosas cuando se las compara con la de los accionadores rotativos.

Existe un límite práctico por encima del cual los MG's dejan de ser atractivos. Las máquinas más grandes probadas en servicios de compresión de gas en Venezuela son de 5.500 Hp, y a manera de referencia vale decir que su tamaño y peso son comparables al de una turbina o motor eléctrico de 35.000 a 40.000 Hp.

Finalmente tenemos que el costo de mantenimiento por unidad de potencia y hora de operación [US\$/Hp-hr] de los MG's es el más elevado entre los tres accionadores, a la vez que su disponibilidad intrínseca y operacional es la menor.

Turbina a Gas (TG)

Existen dos tipos de turbinas de acuerdo a su origen y tecnología: industriales y aeroderivadas. Las aeroderivadas, como su nombre lo indica, tienen su origen en la industria de la aviación pero han sido adaptadas para aplicaciones industriales. Se caracterizan por generar un chorro de gases calientes y de allí que frecuentemente se les llame productores o

generadores de gas (CAx+Tgg, Fig. 10). Tienen una alta relación potencia/peso y sus eficiencias térmicas típicas están entre el 37% y 40%, las cuales están por encima de las encontradas en las turbinas industriales (30%-32%). Se sabe, sin embargo, que las turbinas aeroderivadas son más susceptibles que las industriales al deterioro por ensuciamiento y al envejecimiento de sus partes calientes, por lo que esta diferencia tiende a cerrarse una vez que entran en operación. El diseño compacto y liviano de las aeroderivadas permite, cuando se requiera, remplazarlas rápidamente en sitio por otra turbina de repuesto. No obstante, para poder convertir la energía del chorro de gases calientes a energía mecánica, es necesario acoplarlas a una turbina de potencia (TP, Fig. 11). Esta última es de diseño industrial y en ocasiones requiere mantenimiento mayor en sitio.

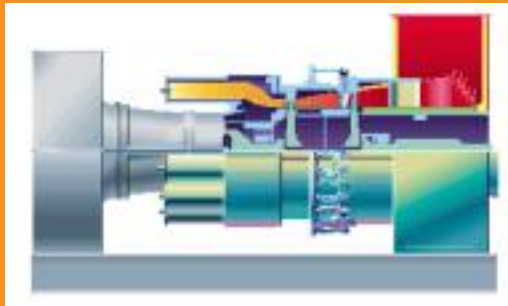


Fig.10.- Turbina a Gas Tipo Industrial

Las turbinas industriales por su parte son de construcción robusta, voluminosas y pesadas cuando se les compara con las aeroderivadas. Encierran dentro de la misma carcasa las secciones equivalentes a la del "productor de gas" y la "turbina de potencia", las cuales usualmente se denominan "turbina de alta presión" (TAP) y "turbina de baja presión" (TBP), Fig. 12. La energía producida por la turbina industrial ya se encuentra en la forma de energía mecánica (rotación de un eje). Ambas secciones de la turbina son diseñadas por un mismo fabricante lo que disminuye el riesgo de ineficiencias, deterioros o fallas prematuras por inconsistencia en el "matching" aerotérmico de ambas secciones. Una desventaja de las turbinas industriales grandes es su indisponibilidad prolongada durante la ejecución de los

mantenimientos mayores (overhauls). Su gran tamaño y peso prácticamente obligan a que el mantenimiento se efectúe en sitio con duración de varias semanas (3 a 6 semanas).



Fig.11.- Turbina Aeroderivada (CAx+Tgg) con Turbina de Potencia (TP)

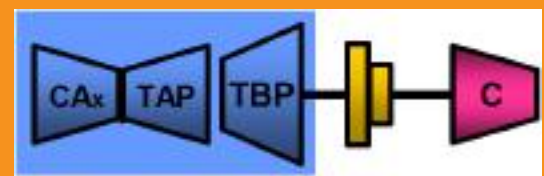


Fig.12.- Turbina Industrial de dos Ejes (CAx+TAP+TBP)

TIPOS DE COMPRESORES

Los compresores centrífugos y los reciprocantes son los más usados para la compresión del gas natural dentro de la industria petrolera. Según el censo realizado en Venezuela en el año 2002, existe un número similar de compresores reciprocantes CR (52%) y compresores centrífugos CC (48%). En términos de potencia y capacidad de compresión, sin embargo, los CC's representan el 89% y 83% respectivamente, correspondiendo la diferencia a los CR's (Fig. 13).

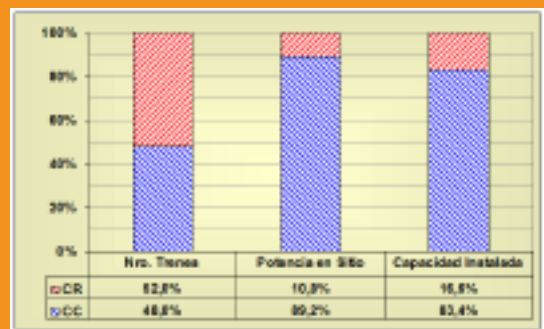


Fig. 13.- Distribución de Compresores en Plantas de Gas (Venezuela)

Sus diferencias tecnológicas hacen que cada compresor tenga un área de aplicación por preferencia, tal como se muestra en el mapa de la Fig. 14. Los compresores reciprocantes son más competitivos

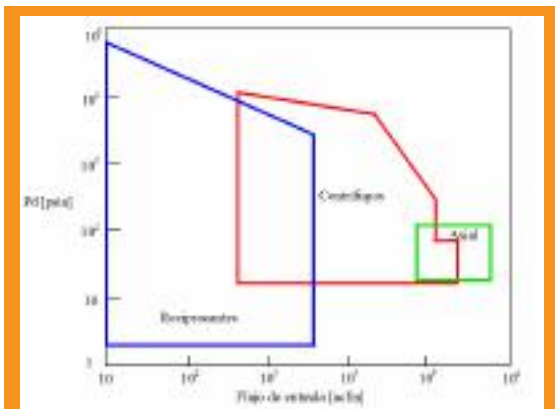


Fig.14.- Mapa de Aplicación de Compresores

Compresores Reciprocantes (CR)

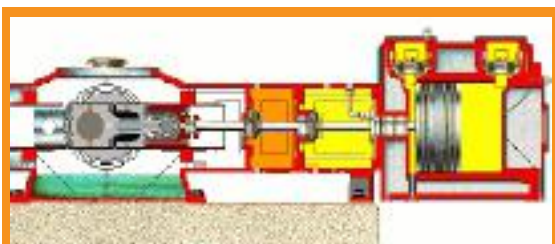


Fig.- Corte Transversal Compresor Reciprocante (CR)

Los compresores reciprocantes son máquinas de movimiento alterno. En líneas generales tienen una eficiencia politrópica mayor a la de los centrifugos, aumentando la diferencia para flujos muy bajos o presiones de trabajo altas. A muy altas presiones, (7000-10000 psig), esta diferencia pudiera ubicarse en 5-10%. Comparados con los centrifugos, los compresores reciprocantes son más tolerantes a las variaciones de presión, temperatura y composición de gas del proceso, por lo que su uso es atractivo en aplicaciones donde las condiciones de proceso son muy cambiantes. No obstante, las altas cargas o exigencias mecánicas a las que están sometidos sus componentes limitan su velocidad de giro a rangos entre 300-1400 RPM y con ella el flujo que son capaces de

manejar. A diferencia de los centrifugos, la robustez de sus ejes y las bajas velocidades de giro lo hacen prácticamente inmune a inestabilidades mecánica o problemas aerodinámicos, cualidades altamente deseadas en aplicaciones críticas.

A pesar de estas bondades, los compresores reciprocantes también están sujetos a problemas, entre los que tenemos:

- Disponibilidad inherente y operacional menor a la de los centrifugos. Las altas cargas alternas, vibraciones y pulsaciones disminuyen notablemente la confiabilidad de sus múltiples componentes y sistemas auxiliares. Además, su diseño dificulta la adquisición de "internos modulares" de repuesto que puedan usarse para reducir sensiblemente el tiempo de una reparación mayor, tal como se hace con los compresores centrifugos.
- Poca o ninguna tolerancia a los líquidos y contaminantes sólidos suspendidos en el gas. Es común encontrar aplicaciones donde el gas de proceso arrastra trazas de líquido y contaminantes sólidos producto de la corrosión de los gasoductos y equipos de proceso que se encuentran aguas arriba de los compresores. La presencia de líquido en los pistones puede ocasionar fallas catastróficas costosas y de reparación prolongada. Contaminantes sólidos surten un efecto abrasivo en los aros de los pistones afectando la eficiencia.
- Costos de mantenimiento mayores a los de los centrifugos.

Compresores Centrifugos (CC)



Fig. 15.- Corte de un Compresor CENTRIFUGO (CC)

Son de construcción relativamente sencilla, poseen pocas partes móviles y manejan grandes volúmenes con menos inversión. Son más confiables y fáciles de mantener que los reciprocantes lo que les da mayor disponibilidad inherente y operacional. Con un juego de internos de repuesto, se puede reducir sensiblemente el tiempo de los mantenimientos y de las reparaciones por fallas mayores. Sus costos de mantenimiento son menores que los de los reciprocantes.

Empero estas bondades, también están sujetos a problemas, destacando:

- Son menos eficientes que los reciprocantes. Esta diferencia se acentúa a muy bajo flujo o muy altas presiones.
- Son susceptibles a problemas aerodinámicos y de estabilidad mecánica, sobretodo a muy altas presiones y velocidades de giro.

METODOLOGIA UTILIZADA

El tamaño y número óptimo de trenes se determina mediante un análisis técnico económico. Técnicamente se verifica que cada tren sea capaz de manejar, durante el ciclo de vida del proyecto, la cuota de volumen de gas que se le ha asignado. Esto debe cumplirse incluso con las ineficiencias típicas a las que estará sujeto el tren. También se verifica que los trenes cumplan con las regulaciones ambientales (ruido, emisiones, calentamiento, etc.) y de seguridad. Para el análisis económico es necesario estimar las inversiones (capex), los costos operativos (opex), los bonos/penalizaciones y las pérdidas de oportunidad por paros programados y no programados en la vida del proyecto.

- *Capex*: considera los costos del IPC, es decir, los costos de la ingeniería, procura de equipos y materiales, transporte, nacionalización, seguros, construcción, "commissioning" y pruebas de aceptación. También considera los mantenimientos mayores (overhauls) y las modernizaciones (upratings) de los trenes, si los lineamientos financieros así lo exigen.
- *Opex*: considera los costos energéticos (gas

combustible y/o electricidad), los alquileres de equipo, la operación y el mantenimiento (predictivo, rutinario y correctivo menor).

- *Bonos y penalizaciones*: dependen de la naturaleza del proyecto y de las regulaciones gubernamentales y ambientales. Hay proyectos en los que el gas natural venteado o quemado, como consecuencia de los paros programados y no programados, debe ser pagado a su dueño. Del mismo modo, existen proyectos de venta de "servicio de compresión de gas" (BOO, BOT, O&M, etc.), a los que se le asocia el pago de un bono ó una penalización, que dependen del cumplimiento o no de los objetivos de confiabilidad y disponibilidad fijados en el contrato.

- *Pérdidas de oportunidad*: son las mermas en los ingresos, directos e indirectos, a los que se da lugar cuando se producen paros programados y no programados. Los proyectos de compresión de gas generalmente están asociados a la explotación del petróleo, el gas natural y sus derivados (inyección a yacimientos, levantamiento artificial, extracción de LGN, etc.). Dependiendo de la actividad que se soporte, las pérdidas de oportunidad pudieran fácilmente convertirse en el mayor de los renglones que participan en la evaluación económica, y cuando es así, la adición de capacidad de compresión de respaldo queda fácilmente justificada. Vale decir, sin embargo, que dar un orden de magnitud sincero a la pérdida de oportunidades, con un margen de incertidumbre aceptable, es uno de los ejercicios que consume más tiempo en el análisis.

Todos los componentes (capex, opex, bonos/penalizaciones y pérdidas de oportunidades) que se generen en el horizonte económico son llevados a valor presente, a la tasa de descuento establecida en los lineamientos para la evaluación económica.

La o las opciones favorecidas son aquellas que cumplan con los requerimientos técnicos, ambientales y de seguridad, con la mayor generación de valor (mayor VPN, mayor TIR, menor desembolso, etc.). La Fig. 16 muestra gráficamente este proceso.

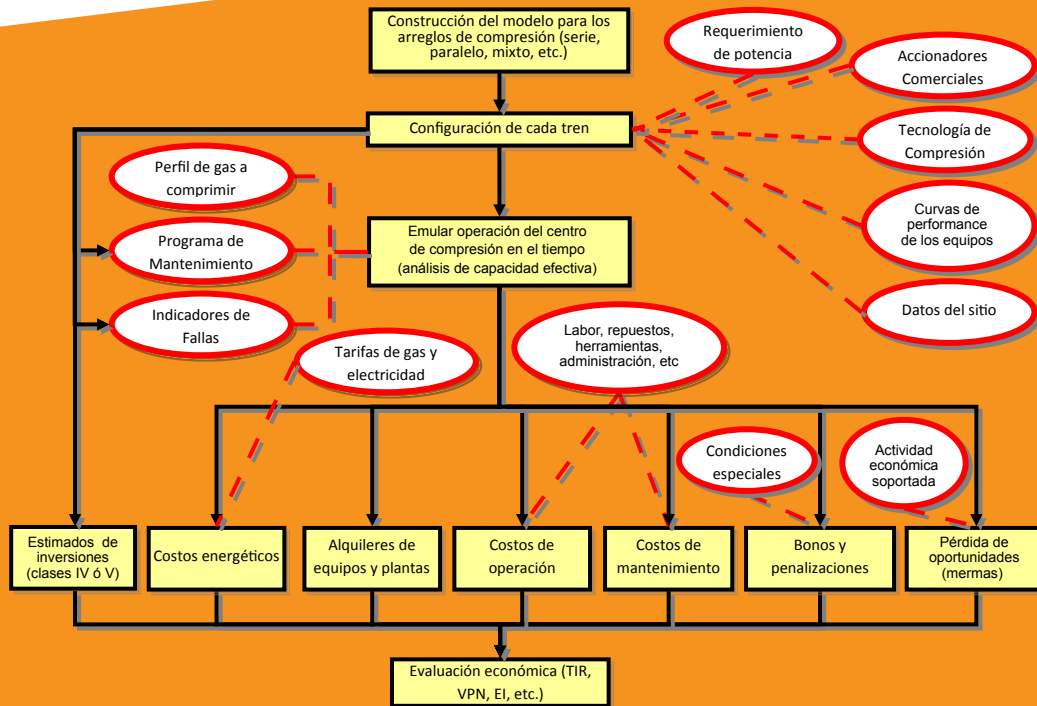


Fig. 16.- Representación Gráfica de la Metodología Usada

CONSTRUCCION DEL MODELO PARA LOS ARREGLOS

En esta etapa del proceso se establecen las ecuaciones del sistema de compresión: balance de masa, límites de cada tren (flujos máximo y mínimo), filosofía de reparto de carga, prioridad de arranque de trenes de respaldo y eventos especiales (venteo, quema o transferencia de gas). La Fig. 17 muestra un arreglo mixto de 7 trenes, con dos corrientes de alimentación que suplen gas a una primera etapa de 5 trenes en paralelo que se conecta en serie con una segunda etapa de 2 trenes en paralelo.

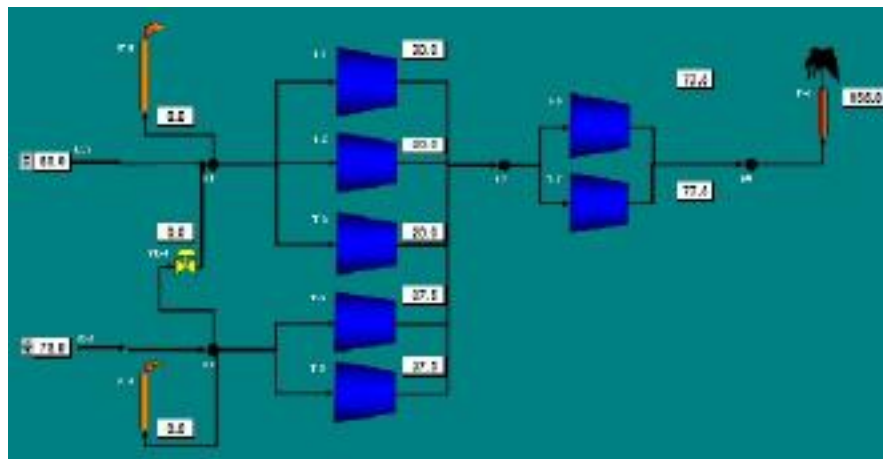


Fig. 17.- Modelo de un Arreglo Mixto Compuesto por Siete Trenes

CONFIGURACIÓN DE LOS TRENES

Para poder configurar un tren es necesario conocer la cromatografía del gas a comprimir y las condiciones de borde, es decir, la presión y temperatura a la succión y la presión a la descarga. El volumen de gas que el tren es capaz de manejar será función de la potencia disponible en el eje del accionador seleccionado y del consumo de potencia específico [BHp/MMscfd] de los compresores.

Potencia Disponible en el Eje del Accionador

Dependerá del tipo de accionador seleccionado. La potencia al eje de los accionadores eléctricos es poco afectada por las condiciones ambientales, la operación "off design", el desgaste de componentes y el ensuciamiento de sus internos. La Fig. 18 muestra la eficiencia típica de motores de inducción entre 250 a 14000 Hp, donde puede verse como la eficiencia cae menos de 1% cuando la carga del motor baja de 100% a 50%. A pesar de que los fabricantes ofrecen motores con potencias estándar NEMA, es posible obtener motores con potencia nominal a la medida.

Los accionadores a gas no son tan nobles como los eléctricos. La potencia al eje de las turbinas, por ejemplo, es enormemente afectada por las condiciones ambientales, la operación "off design", las pérdidas de presión en los ductos de entrada de aire y salida de gases calientes, y por el desgaste y ensuciamiento de sus internos. Una forma simple de estimar el impacto es a través de la incorporación de factores de corrección, según se indica:

$$HP_{disp} = HP_{iso} * f_t * f_h * f_s * f_e * f_d$$

Donde:

- HP_{disp}: potencia disponible al eje.
- HP_{iso}: potencia a condiciones ISO (59 °F y al nivel del mar).
- f_t: factor de corrección por temperatura ambiente.
- f_h: factor de corrección por altura.
- f_s: factor de corrección por pérdidas en ducto de succión.
- f_e: factor de corrección por pérdidas en ducto de escape.
- f_d: factor de corrección por deterioro.

De estos, la temperatura ambiente y el deterioro son los factores que tienen más impacto. La Fig. 19 muestra el impacto (%) que tiene la temperatura ambiente sobre la potencia al eje (output), en una turbina tipo industrial. En regiones cercanas al Ecuador, donde las estaciones climáticas no son tan marcadas, es fácil encontrar oscilaciones en la temperatura ambiente de hasta 30 °F entre el día y la noche, tal como se muestran los registros de la Fig. 20.

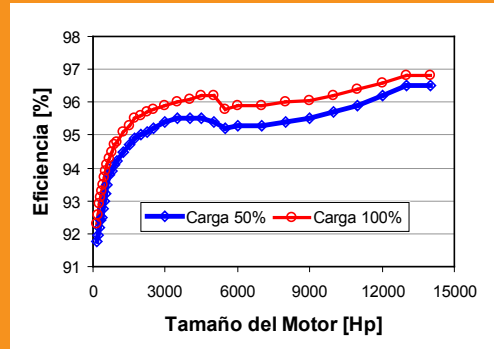


Fig. 18.- Eficiencia de Motores de Inducción a 50% y 100% de Carga

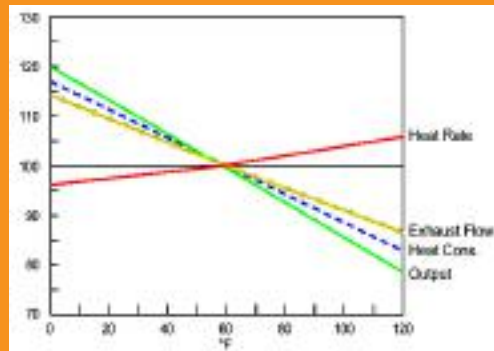


Fig. 19.- Variación [%] en Potencia (Output) con Temperatura Ambiente



Fig. 20.- Temperatura Ambiente en Región Oriental de Venezuela

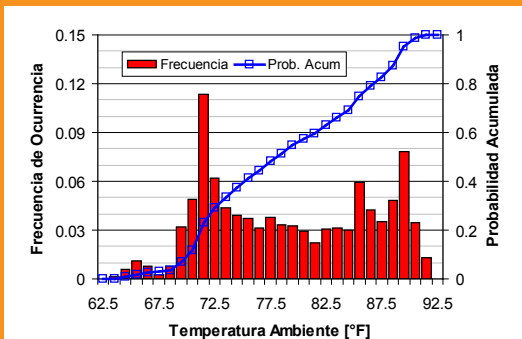


Fig. 21.- Histograma de Frecuencia de Temperatura Ambiente

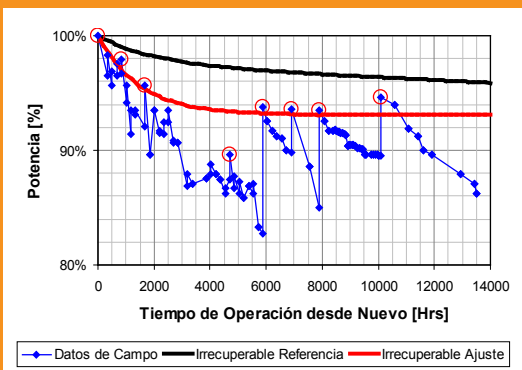


Fig. 22.- Deterioro Recuperable y no Recuperable en Turbinas

Para el ejemplo mostrado, el factor de corrección f_t oscila entre 0.98 y 0.87, obteniéndose la menor potencia justo cuando la temperatura ambiente alcanza su máximo valor. La oscilación de la temperatura, y por ende de la potencia disponible, será más marcada a medida que nos alejamos del Ecuador. Es imperativo que el equipo de trabajo defina el criterio para establecer la temperatura ambiente que aparecerá en la hoja de especificaciones de la turbina (data sheet). Una práctica, por ejemplo, sería establecer un valor de temperatura ambiente que permita que la turbina tenga potencia suficiente para poder comprimir el volumen de gas asignado el 95% de los casos. La Fig. 21 muestra el histograma de frecuencia del registro de temperatura de la Fig. 20. La curva de probabilidad acumulada (azul) indica que el 95% de las veces la temperatura estará por debajo de 89.5 °F, por lo que 90°F resulta adecuado para las hojas de datos de las especificaciones de este ejemplo particular.

Referente al deterioro en las turbinas, se sabe por la literatura que el mismo tiene dos componentes: el deterioro o pérdida recuperable y la pérdida irreparable. La mayor parte de la pérdida irreparable sólo se logra restaurar con un mantenimiento mayor (media vida u overhaul), mientras que la recuperable, asociada al ensuciamiento de la turbina, se restaura con lavados del compresor axial. Existen dos tipos de lavados: en línea (online washing) y fuera de línea (offline washing). El lavado en línea sólo recupera una pequeña fracción de la potencia perdida, pero puede efectuarse con la máquina en operación y con la frecuencia que se desee. El lavado fuera de línea remueve más sucio y recupera una fracción considerable de la potencia, pero requiere que la unidad esté fuera de servicio y que sus partes calientes se hayan enfriado. La Fig. 22 ilustra la variación (%) de la potencia al eje con las horas de operación, causada por el desgaste y el ensuciamiento.

La curva con puntos azul muestra el comportamiento observado por una turbina aeroderivada que fue sometida a diferentes regímenes de lavados en línea y fuera de línea, en sus primeras 13500 hrs de operación [Crease, 1994]. La curva roja representa la tendencia del deterioro irreparable y fue obtenida por el mejor ajuste de las potencias obtenidas después de un lavado fuera de línea (puntos encerrados por circunferencias). Como referencia, curva negra de caída más suave, se incluye el deterioro irreparable esperado de una turbina industrial de potencia similar [Nuovo Pignone, 1995]. Es claro que después del primer semestre de operación, la potencia perdida estará oscilando entre 3% y 15%, dependiendo de la cantidad y tipo de contaminantes suspendidos en el aire, la efectividad del sistema de filtración de aire y de las políticas de lavado que se adopten.

En la selección de turbinas como accionador debe tenerse en cuenta que, a diferencia de los motores eléctricos, las turbinas no son fabricadas como "traje a la medida". Sus elevados costos y tiempo de desarrollo hacen que sólo se encuentre en el mercado un número limitado de marcas y modelos con experiencia probada. Es por ello que en el proceso de configuración de un tren, algunas turbinas pudieran resultar muy "grandes" ó muy "pequeñas" para la aplicación, sin que exista el tamaño (potencia) ideal para la capacidad de manejo de gas fijada. En estos casos el tamaño o capacidad del tren debe ser ajustado a la potencia del accionador disponible, en lugar de ajustar la potencia de un accionador para satisfacer un tamaño o capacidad de tren seleccionado.

Consumo de Potencia Específico [BHp/MMscfd]

Son muchos los factores que afectan el consumo de potencia específico BHp/MMscfd, entre los que destacan: cromatografía del gas, relación de compresión de la planta, temperatura del gas a la succión, eficiencia de los compresores, número de etapas ó cuerpos de compresión, pérdidas mecánicas en cajas de engranajes y accesorios, caídas de presión en líneas, depuradores y enfriadores interetapas, eficiencia de los enfriadores, etc. Lo ideal sería contar con la asistencia de los fabricantes para la obtención de este valor, pero no siempre es posible o conveniente. Para escoger el tamaño y el número óptimo de trenes es necesario considerar una cantidad considerable de combinaciones y resulta impráctico solicitar a los fabricantes que configuren trenes para cada opción.

Una forma simple y rápida, pero aproximada, de estimar los BHp/MMscfd, es haciendo uso del nomograma mostrado en la Fig. 23 [GPSA, 1998].

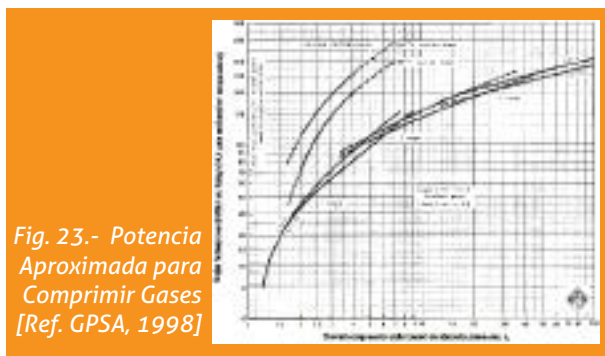


Fig. 23.- Potencia Aproximada para Comprimir Gases [Ref. GPSA, 1998]

Otro método más preciso, pero que requiere conocer algunas prácticas de diseño, es simular el proceso de compresión con la asistencia de un simulador comercial (Hysys, Pro II, etc.). El número de etapas o cuerpos de compresión quedará determinado por las limitaciones físicas de los componentes: máxima temperatura de descarga, número de impulsores por carcasa, empuje axial, velocidad de giro, carga en barras, etc. La temperatura de descarga a su vez es función de la eficiencia politrópica, la relación de compresión de la etapa y las propiedades termodinámicas de la mezcla de gases. En el ejercicio deberá considerarse la

caída de presión en las facilidades de entrada, tramos interetapas y facilidades de salida, así como la temperatura de salida del gas en los enfriadores interetapa.

Es claro que no hay una única receta para el diseño, y la prueba de ello es que diferentes fabricantes ofrecerían diferentes configuraciones para una misma aplicación.

Interacción Accionador – Tren Compresor

Es la que determina el punto en el cual operará el tren para satisfacer el volumen de gas fijado, a las condiciones de proceso especificadas. Gráficamente, el punto vendría representado por la intercepción de la curva del accionador con la curva de la carga (tren compresor), tal como lo ilustra la Fig. 24.

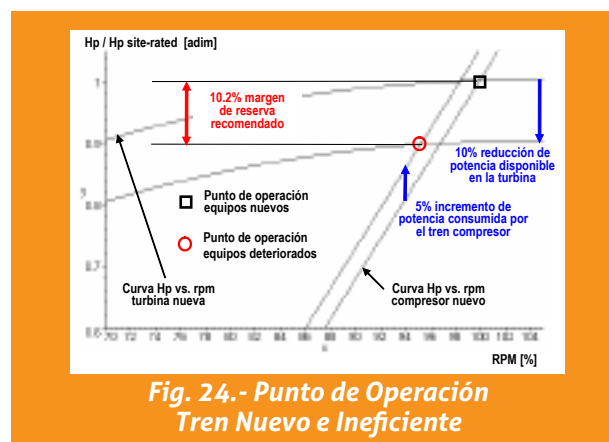


Fig. 24.- Punto de Operación Tren Nuevo e Ineficiente

Los fabricantes y “paquetizadores” acostumbran, como una práctica saludable, a diseñar el tren compresor manteniendo un margen de potencia entre el punto normal de operación y el punto de máxima potencia disponible “site-rated”. Esto permite absorber las pérdidas de eficiencia naturales de los equipos, sin sacrificar el volumen de gas a comprimir. Sin embargo, para el caso particular de accionadores a gas, debe entenderse que mientras más grande sea el margen de potencia, más alejado se está del punto de máxima eficiencia “rated”, y esto se traduce en un mayor consumo de gas combustible. Mayor margen de potencia incrementa la capacidad efectiva, pero implica mayor inversión y costos energéticos. La opción favorecida es la que tenga mejores indicadores financieros.

ANÁLISIS DE CAPACIDAD EFECTIVA

En el contexto de este trabajo, definiremos los siguientes términos según sigue:

- Capacidad nominal: aquella para la cual fue diseñado el tren.
- Capacidad máxima: la mayor que puede manejar el tren en algún momento sin ser limitado por algún sistema de control o protección. Este valor es mayor cuando al tren está nuevo y eficiente.
- Capacidad efectiva: es la capacidad promedio del sistema en un período dado tomando en cuenta los paros por mantenimientos programados y no programados (fallas).

Existen paros determinísticos y probabilísticos. Los primeros están vinculados a los mantenimientos programados y siguen un patrón definido por el fabricante o por la experiencia del usuario. Los paros probabilísticos están vinculados a las fallas y su ocurrencia es completamente aleatoria en el tiempo, pero pueden ser modelados por distribuciones estadísticas.

Para el cálculo de la capacidad efectiva se considera la probabilidad de que dos o más trenes paren simultáneamente, el arreglo o interconexión entre ellos y la capacidad de reserva del sistema. La reserva puede estar en "standby", es decir, un tren parado en espera de ser arrancado cuando se requiera, o puede estar "rodante", es decir, los trenes operan a capacidad nominal (carga parcial) y son llevados a capacidad máxima cuando algún tren sale de servicio.

Existen varios métodos capaces de predecir la probabilidad de que los eventos ocurran en forma aislada o simultánea, como por ejemplo, la probabilidad de que un tren falle

cuando otro tren está en mantenimiento programado. Uno de ellos son las simulaciones de Montecarlo, que asignan un valor aleatorio a cada variable de interés siguiendo una distribución dada (normal, lognormal, exponencial, etc.).

Otro método es la "matriz de combinación de modos", que es una extensión del método de "distribución binomial". La Fig. 25 ilustra un ejemplo sencillo de 4 trenes con capacidad nominal de 45 MMscfd c/u, conectados en paralelo, para manejar un volumen total de 135 MMscfd. La capacidad máxima de cada tren, cuando están ineficientes, es 47.8 MMscfd. Es claro que 3 trenes satisfacen el requerimiento operando a 45 MMscfd (carga parcial), por lo que el cuarto tren estará como respaldo operacional en "standby". Como lo indica la matriz, hay 16 modos posibles de operación, donde los estados individuales de los trenes son "Standby", "On" y "Off". La primera columna indica la probabilidad de ocurrencia de cada modo y la segunda columna las horas en un año que esto representa. La última columna corresponde a la cantidad de gas que no puede ser manejado en cada modo, cuya suma ponderada por la probabilidad equivale al gas no manejado en el año. El complemento del gas no manejado dará la capacidad efectiva del arreglo.

Se diferencian dos escenarios: uno en el que no hay mantenimientos programados y todos los paros "off" son producto de fallas; el otro escenario contempla que un tren está fuera de servicio por mantenimiento programado y se evalúa la probabilidad de que los trenes restantes fallen. La capacidad efectiva final es la que se obtiene al combinar los resultados de los dos escenarios.

Estadística	Flujo y Estado por Tren				Sumario del Modo				
	Probab de Operar en Modo	Hrs Operando en Modo					Manejado [MMscfd]	Entregado [MMscfd]	No Manej [MMscfd]
			T1	T2	T3	T4			
1	0.909262	7965.13	Stb	45.0	45.0	45.0	135.00	135.00	
2	0.021882	191.69	Stb	45.0	45.0	45.0	135.00	135.00	
3	0.021882	191.69	45.0	Off	45.0	45.0	135.00	135.00	
4	0.000527	4.61	Off	Off	47.8	47.8	95.52	95.52	39.48
5	0.021882	191.69	45.0	45.0	Off	45.0	135.00	135.00	
6	0.000527	4.61	Off	47.8	Off	47.8	95.52	95.52	39.48
7	0.000527	4.61	47.8	Off	Off	47.8	95.52	95.52	39.48
8	0.000013	0.11	Off	Off	Off	47.8	47.76	47.76	87.24
9	0.021882	191.69	45.0	45.0	45.0	Off	135.00	135.00	
10	0.000527	4.61	Off	47.8	47.8	Off	95.52	95.52	39.48
11	0.000527	4.61	47.8	Off	47.8	Off	95.52	95.52	39.48
12	0.000013	0.11	Off	Off	Off	47.8	47.76	47.76	87.24
13	0.000527	4.61	47.8	47.8	Off	Off	95.52	95.52	39.48
14	0.000013	0.11	Off	47.8	Off	Off	47.76	47.76	87.24
15	0.000013	0.11	47.8	Off	Off	Off	47.76	47.76	87.24
16	0.000000	0.00	Off	Off	Off	Off	.00	.00	135.00
17									

Fig. 25.- Matriz de Modo para 4 Trenes

similares, pero esta información no es del dominio público. La Fig. 26 muestra la disponibilidad promedio mensual de una flota de trenes compresores centrífugos accionados por motores eléctricos y turbinas a gas en un período de tres años.

Continuará en la próxima edición

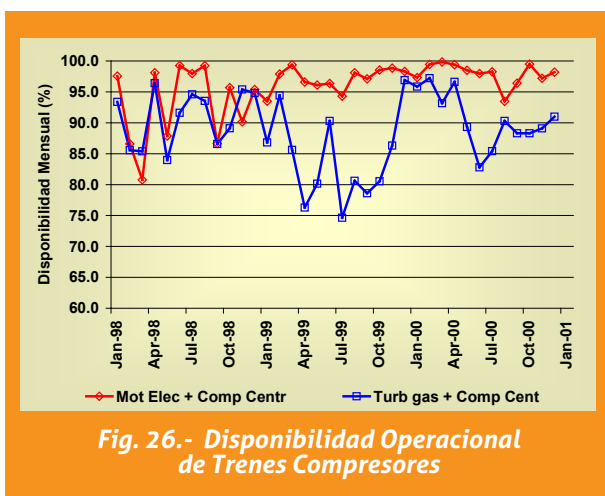


Fig. 26.- Disponibilidad Operacional de Trenes Compresores

Como lo indica la Fig. 16, el programa de mantenimiento y los indicadores de fallas son dependientes de la configuración del tren. Los motores eléctricos son más confiables que las turbinas, y estas que los motores a gas. Del mismo modo, los compresores centrífugos son más confiables que los reciprocantes, pero el tiempo para reparar de estos últimos es menor. En la literatura abierta hay pocas fuentes confiables con indicadores de falla y tiempos para reparar, como por ejemplo, los volúmenes Oreda (Offshore Reliability Data). La mejor fuente, sin embargo, es la data obtenida directamente en campo con trenes compresores

Referencias Bibliográficas

- 1.- Gas Processors Suppliers Association GPSA.- Engineering Data Book, 11a Edición, 1998.
- 2.- Crease, Tony.- Impacto de Lavado del Compresor Axial Sobre la Potencia y Costos de Operación de Turbinas a Gas. XI Jornadas de Gas, Caracas, 1994.
- 3.- Nuovo Pignone.- Expected Gas Turbine Plant Performance Loss Following Normal Maintenance and Off-Line Compressor Water Wash. Curva 519HA772 Rev. A Feb. 9, 1995; Documento Nuovo Pignone, SOM44261.

Sobre el Autor

Enrique J. González.
Ingeniero Mecánico de la Universidad Simón Bolívar (1986)
Maestría en Ingeniería Mecánica en la Universidad de Texas A&M.

ISO 55000: un giro de timón en la Gestión de Activos



El nuevo estándar de calidad internacional para la Gestión de Activos promete revolucionar el ámbito industrial en cuanto a resultados financieros, administración del riesgo, mejores servicios y productos, y la sostenibilidad organizacional. Hija de la norma PAS 55, ISO 55000 entrará en vigencia en febrero del año 2014.

Con el fin de lograr una eficiente y efectiva gestión de activos, entrará en vigencia a partir de febrero de 2014 la norma ISO 55000, luego de un profundo trabajo de revisión y propuestas por parte del comité internacional ISO. A su vez, la norma ISO 55000 surge de todo el éxito obtenido con la aplicación de la norma PAS 55, la especificación de los requerimientos del Estándar Británico para la gerencia óptima de los activos físicos, que se ha utilizado como base por parte de la Organización Internacional de Estándares para establecer el primer Estándar Internacional de Gerencia de Activos.

Según explica el portal The Woodhouse Partnership, "BSI PAS 55 ha sido una historia de éxito internacional desde el año 2004, reconocida cada vez más como una piedra fundamental de las buenas prácticas en el ciclo de duración de vida útil total, y en la gerencia optimizada de los activos físicos. Ha sido recibida como una definición objetiva y esencial de lo que se requiere para demostrar competencia, establecer prioridades de mejora y lograr más y mejores conexiones transparentes entre los planes estratégicos organizacionales, el trabajo diario real y las realidades de los activos." La PAS 55 recibió desde el principio una rápida aceptación alrededor del mundo en distintos sectores

industriales, convirtiéndose en un estándar de referencia sumamente valioso para las organizaciones, apoyando el hecho de que el valor neto del dinero sea la base para la toma de decisiones sobre costos, riesgos y rendimiento. BSI publicó en el 2004 este estándar con la finalidad de normalizar la gestión de activos, y es, hoy por hoy, el eje rector para esta área, que está siendo implementado en el mundo entero, luego de demostrar con creces ser una excelente metodología para mejorar el desempeño de los activos, amén de generar un dramático impacto financiero en las empresas y corporaciones que lo han adoptado.

Como es sabido, la Gestión de Activos comprende el conjunto de actividades que una organización pone en práctica para lograr de sus activos los mejores resultados, con un balance entre costos, riesgos y desempeño organizacional en función de la obtención de los mejores beneficios posibles. Para lograr este cometido, se requiere a su vez de una sólida cultura empresarial y un verdadero liderazgo, en donde términos propios de las ciencias sociales como sensibilización y comunicación saltan a la arena del quehacer industrial, como parte de los soportes necesarios para lograr el cambio de cultura organizacional que requiere la implantación de la norma ISO 55000, bajo la premisa (y la

promesa) de mejorar dramáticamente las utilidades de la empresa que la aplique. En última instancia, son las personas, el recurso humano, quienes podrán hacer posible la aplicación y sostenimiento en el tiempo de cualquier norma de calidad, en cualquier área.

Para la Asociación Mexicana de Gestión de Activos, AMGA, una Gestión de Activos "debe ser abrazada" por todos los niveles de la organización, y no puede ser asignada, bajo ningún concepto, como responsabilidad de un único departamento. Basar el sistema de gestión de activos en la norma ISO 55000 es mejorar sustancialmente los ingresos de la empresa, además de lograr los beneficios que se desprenden del novedoso enfoque de mejora de confiabilidad a largo plazo, muy por encima de los tradicionales planes de mejora a corto plazo.

Bandera ISO para el 2014

En mayo de este año finalizó en la ciudad de Calgary, Canadá, la quinta reunión para la revisión de los trabajos desarrollados en función de la Propuesta Final para Estándares Internacionales (FDISs), puesto que la norma ISO 55000 proporcionará una visión global, conceptos y terminología en Gerencia de Activos. En tal sentido, se determinó que la norma ISO 55001 especificará los requerimientos para las buenas prácticas en Gerencia de Activos, en tanto que ISO 55002 proporciona una guía para la interpretación e implementación para un Sistema de Gerencia de Activos. Igualmente, el BSI informó que la familia de estándares ISO 5500X también se alineará e integrará con otras especificaciones de sistemas mayores de gerencia. Esto con el fin de establecerse un enfoque integrado para las buenas prácticas en todos los aspectos claves de las operaciones profesionales, lo cual incluiría la ISO 9001 para la gerencia de calidad, ISO 14001 para la gerencia ambiental, OHSAS 18000 para salud ocupacional y seguridad, e ISO 31000 para la gerencia de riesgos. Para

diciembre de este año 2013 se espera que la norma sea finalmente liberada, con entrada en vigencia a partir de febrero de 2014.

La reunión en Calgary, presidida por Rhys Davies, arrojó importantes resultados. Durante el Foro Abierto que tuvo lugar en el evento, se establecieron pautas importantes, que permitieron finalmente delinear con claridad la ISO 5500X: la relación entre los elementos planificación-estrategias-políticas, las diferencias entre Manejo de Activos y Sistema de Manejo de Activos, el tratamiento de lo que se considera realmente riesgo para los estándares de calidad, así como la revisión de las definiciones *Vida de Activos* contra *Ciclo Vital*.

Todo este enorme esfuerzo mundial cumple con un propósito vital: permitir a cualquier empresa u organización obtener los mejores resultados posibles, incluyendo el financiero, gracias al óptimo manejo de sus activos. El portal web www.isoformula.com reproduce las declaraciones del presidente de Levin Global (consultora argentina sobre valuación de activos), Norberto Levin, quien sostiene sucintamente respecto a la ISO 5500X: "estas son las cosas que van a agregar productividad a una institución. Hay muchos costos ocultos, de ahí la necesidad de poner la casa en orden".

Alimey Díaz Martí

Cibergrafía:
www.twpl.com
www.isoformula.com
www.iso.org
www.amga.com.mx

EVENTOS

12 de noviembre de 2013

9no Congreso Uruguayo de
Confiabilidad, Gestión de Activos
y Mantenimiento

Montevideo, Uruguay
(598) 94 600 476
info@uruman.org
www.uruman.org

21 al 22 de noviembre de 2013

17º Congreso Iberoamericano
de Mantenimiento

Cascais, Portugal (NM18)
351-21 716 38 81
apmigeral@mail.telepac.pt

27 y 28 de noviembre de 2013

XV Congreso de Confiabilidad

Organizado por la Asociación
Española para la Calidad
Madrid - España
www.aec.es

10 al 12 de diciembre de 2013

International Maintenance
Conference 2013

Florida USA - Hyattregency
erm@reliabilityweb.com
www.maintenanceconference.com/ime13/

RELIABILITYWEB.COM y Uptime Magazine presentan la
IMC2013 - Diciembre 10 al 13, 2013-04-10

28va Conferencia Internacional sobre Mantenimiento -
3 Foros Previos a la Conferencia (Diciembre 9-10, 2013):

SAP PM; Maximo; ISO 55000

Bonita Springs, Florida

Hyatt Regency Coconut Point Resort

www.imc-2013.com

(888) 575-1215 o (239) 333-2500

ISO 55000

Forum para la Administración de Bienes (BSI-PAS55)

Para aquellos interesados en una aproximación
al "como hacer" en la implementación del nuevo
Estandar de Administración de Bienes ISO55000.

Este forum proporciona una rapida solución
para develar los secretos de un sistema
administrativo de bienes.

22 al 25 de septiembre de 2014

9º Congreso Mexicano
de Confiabilidad
y Mantenimiento 2014

México, D.F.

www.omcm.com.mx

ASOCIACIONES
MANTENIMIENTO
MUNDIAL



ABRAMAN
Associação Brasileira de Manutenção
[HTTP://WWW.ABRAMAN.ORG.BR](http://www.abraman.org.br)



AEMA
Asociación Peruana de Mantenimiento
[HTTP://WWW.AEMAPERU.COM](http://www.aemaperu.com)



ACIEM
Asociación Colombiana de Ingenieros
Guayaquil, Ecuador
[HTTP://WWW.ACIEM.ORG](http://www.aciem.org)



AEMI CHILE
Asociación Chilena de Mantenimiento
MAILTO: RIOSA@ENTELCHILE.NET



ACIMA
Asociación Costarricense de Ingeniería
de Mantenimiento
[HTTP://WWW.ACIMACR.COM](http://www.acimacr.com)



AMGA
Asociación Mexicana De Profesionales
En Gestión De Activos Físicos
[HTTP://WWW.AMGA.ORG.MX](http://www.amga.org.mx)



AEM
Asociación Española de Mantenimiento
[HTTP://WWW.AEMES](http://www.aemes)



APMI PORTUGAL
Associação Portuguesa de Manutenção
Industrial
MAILTO: APMI@ONINET.PT



ASBOMAN
Asociación Boliviana de Mantenimiento
[HTTP://WWW.ASBOMAN.COM](http://www.asboman.com)



FIM
Federação Iberoamericana de Manutenção
[HTTP://WWW.EFNMS.ORG/EFNMS/LINKS/FIM.ASP](http://www.efnms.org/efnms/links/fim.asp)



ASEINMA
Asociación Ecuatoriana De Ingeniería
De Mantenimiento
[HTTP://WWW.ASEINMA.ORG](http://www.aseinma.org)



IPEMAN
Instituto Peruano de Mantenimiento
[HTTP://WWW.IPEMAN.COM](http://www.ipeman.com)



AVEPMCO
Asociación Venezolana de Profesionales
de Mantenimiento y Confiabilidad
[HTTP://WWW.AVEPMCO.ORG.VE/](http://www.avepmco.org.ve/)



SOMMAC
Sociedad Mexicana de Mantenimiento
[HTTP://WWW.MANTENIMIENTO-SOMMAC.COM/](http://www.mantenimiento-sommac.com/)



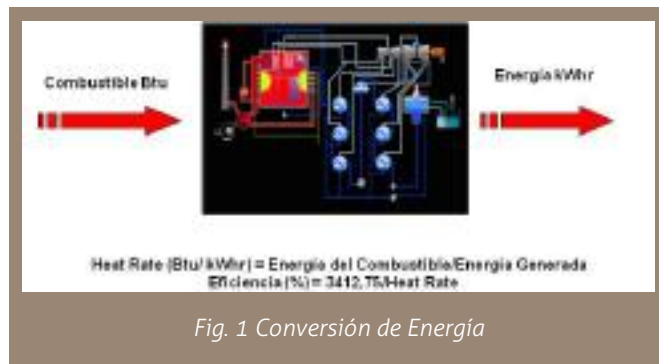
CAM
Comité Argentino de Mantenimiento
[HTTP://WWW.CAM-MANTENIMIENTO.COM.AR](http://www.cam-mantenimiento.com.ar)



URUMAN
Sociedad Uruguaya de Mantenimiento,
Gestión de Activos y Confiabilidad
[HTTP://WWW.URUMAN.ORG](http://www.uruman.org)

La Gerencia Del Combustible Como Elemento Clave en Centrales Térmicas a Vapor.

En todas las Centrales Térmicas a Vapor, ver fig.1 se transforma la energía química de un combustible (gas natural, fuel número 6, fuel número 2, y carbón entre otros) en energía eléctrica, es decir se transforman los Btu del combustible, en kWh. Asociados a estos procesos de conversión, están las pérdidas, que no son más que la energía que no se aprovecha, estas pérdidas pueden ser propias, producto de las ineficiencias por diseño de los equipos o consecuencias de la forma como se operen las unidades. En Las Centrales Térmicas a Vapor, para medir la relación entre la energía introducida y la energía aprovechada, se usa una variable denominada Eficiencia de la Planta. Esta Eficiencia también puede ser expresada a través de otra variable denominada Heat Rate, variable que nos indica cuanta cantidad de combustible en términos de energía se necesita para generar un kWh a un determinado poder calorífico



Los altos costos de los combustibles a nivel mundial y la aparición de los mercados desregulados en muchos países, han llevado a las Empresas de Generación de Energía Eléctrica con Plantas Térmicas a Vapor, a Gerenciar sus costos por concepto de combustible y esto se debe principalmente a que uno de los factores que mas afecta el costo de producción (\$/kWh) lo constituye el precio del combustible. Como puede verse en la fig. 2 en algunas Plantas este costo puede llegar a representar hasta un 85% del costo total de producción.

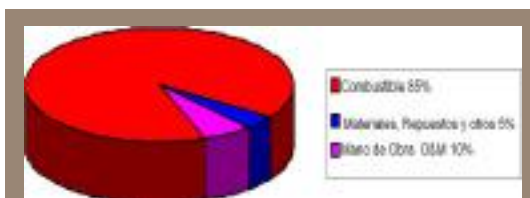


Fig. 2 Distribución Porcentual del Costo de Producción

Este trabajo se concentra en el proyecto la Gerencia del Combustible y en el mismo se presenta una lista de verificación que incluye los siguientes puntos:

- Identificar las variables que afectan el Heat Rate de las unidades de generación.
- Determinar la Capacidad Técnica del Personal de operadores y mantenedores en los procesos de las unidades de generación.
- Conocer el estado de equipos instalados para la medición del Heat Rate.
- Contar con las pruebas de Eficiencia y de Heat Balance de diseño de las unidades de generación

La Experiencia a nivel de las principales Centrales Térmicas de Generación de Energía Eléctrica nos conduce a que los principales

factores que afectan el Heat Rate de sus unidades son :

- 1.- Factor de Capacidad de la Planta.
- 2.- Exceso de Oxígeno en la Caldera. (alto o bajo)
- 3.- Temperatura y Presión del Vapor Principal y Recalentado
- 4.- Presión de escape del Condensador.
- 5.- Precalentadores de Agua de Alimentación.
- 6.- Pureza de Hidrógeno en el Generador.
- 7.- Resistencias Térmicas en Superficies de Transferencias de Calor.
- 8.- Estado de la Instrumentación.
- 9.- Fugas de Agua y Vapor.
- 10.- Calibración de los elementos de medición de combustible.
- 11.- Habilidades y Conocimientos del personal de la Planta

Monitoreo en Tiempo Real del Heat Rate

La centralización en computadoras de las señales de la energía generada de cada unidad, así como también del flujo de combustible y el poder calórico (solo gas natural) permiten mediante un algoritmo matemático, Ec. 1 calcular y mostrar en tiempo real el Heat Rate de cada unidad. Esta información le permite a los operadores de unidad realizar los ajustes y operaciones necesarias a fin de optimizar el consumo de combustible y de esta manera reducir las pérdidas. Otra bondad que ofrece este sistema, es la de facilitar la realización de un despacho económico de carga con las diferentes unidades de generación en línea, ya que al conocer en tiempo real las eficiencias de las máquinas los operadores pueden efectuar variaciones en la carga de las unidades para obtener el mejor valor de eficiencia del conjunto, y de esta manera se puede suplir la demanda de energía eficientemente. En la Fig. 3 se muestra un diagrama esquemático del sistema.

$$\text{Heat Rate (Btu/kWh)} = V \cdot \text{HHV} / \text{EG} \quad (1)$$

Donde el Heat Rate es la relación entre la energía de entrada y la energía de salida.

- V.= Volumen o masa de Combustible (Ft3 ó Lbm)
- HHV.= Poder Calorífico Alto. (Btu/ Ft3 ó Btu/ Lbm)
- EG.= Energía Generada (kWh) = Pi * FC*
- Pi.= Potencia Instalada de la Unidad KW
- FC = Factor de Capacidad de la Unidad %
- HP = Número de horas del período considerado

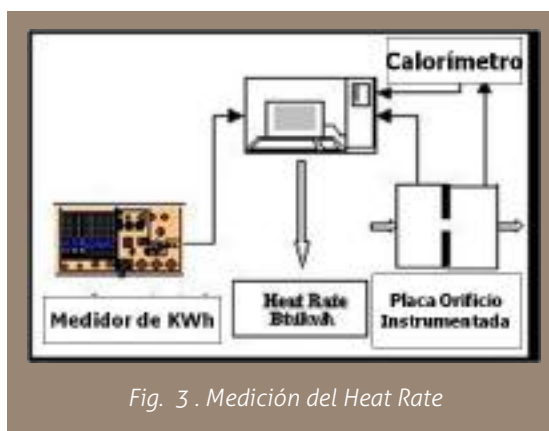


Fig. 3 . Medición del Heat Rate

% de Variación de los Valores de Heat rate por Variable Operativa.

En pruebas realizadas en Centrales Térmicas a vapor durante su operación se ha podido observar mediante la medición del heat rate en tiempo real como se afecta la eficiencia de una maquina al operarla fuera de sus parámetros operativos de diseño. En la fig. 4 se presenta la data obtenida

VARIABLE	VARIACIÓN DEL HEAT - RATE (%)
DESVIACIÓN DE LA MEDICIÓN	HASTA 3,5 %
CARGA DE LA UNIDAD	HASTA 5 %
EXCESO DE OXIGENO	HASTA 10 %
TEMP. Y PRES. DEL VAPOR PRINCIPAL	HASTA 3 %
PRECALENTADORES DE AGUA ALIMT.	HASTA 1 %
PUREZA H2	HASTA 1 %
PRESIÓN DE ESCAPE	HASTA 5 %

Fig. 4 % de Variación del Heat Rate

Desviaciones en la Medición del Combustible.

En todas las Centrales Energéticas, los responsables de para la recepción del combustible llegan un control estricto de lo facturado y lo recibido ya que cualquier variación será cargada a las unidades bien sea por mejora en la eficiencia o por disminución de la misma. En las plantas que queman gas natural se instalan estaciones de medición espejo, es decir equipos de medición de iguales características a la del suplidor de gas con la finalidad de poder llevar un mejor control de lo facturado por el suplidor. Algunas plantas solo permiten variaciones hasta un 2%. Para el cálculo del volumen suministrado, se utiliza la metodología de corregir el volumen por el factor resultante de dividir el poder calorífico promedio de la gas suministrado por el poder calorífico del gas contractual. de En el caso de las plantas que queman fuel oil, el control se hace cuando termina el proceso de bombeo hacia los tanques de almacenamiento y es allí cuando se toman muestras para medir el poder calorífico, temperatura del combustible, grados api y volumen despachado y una vez comparado con las especificaciones del combustible contratado se procede a certificar dicho combustible.

Carga de la Unidad.

Como puede verse en la Fig. 5, el heat rate de las centrales térmicas a vapor típica, se ve afectado en cargas inferiores al 75 % y mayores a 85%. Es por ello que se hace necesario efectuar pruebas de Heat Balance y de Eficiencia a diferentes porcentajes de carga (50,75,85 y 100%) de cada unidad de generación y comparar los valores obtenidos con los valores de diseño. Con estas pruebas, se puede determinar el estado operativo de los diferentes equipos de las unidades de generación.

Con toda la data obtenida se pueden realizar las acciones correctivas pertinentes, con la finalidad de llevar las máquinas a su valor de diseño, mejorando así el consumo de combustible. Es recomendable que estas pruebas sean realizadas trimestralmente y una semana antes de cada parada para man-

tenimiento. Los reportes de las pruebas de heat balance y de eficiencia son utilizados como material de soporte para pruebas futuras

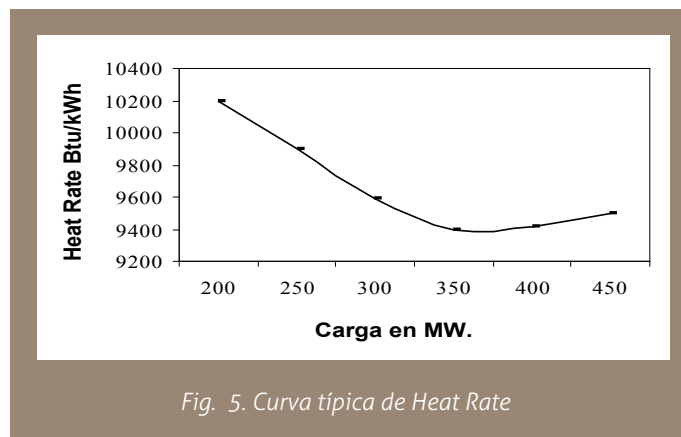


Fig. 5. Curva típica de Heat Rate

Porcentaje Exceso de Oxigeno

Cuando hablamos del % de exceso de oxigeno, nos referimos a la cantidad de aire en exceso que debemos suministrar al generador de vapor para producir una combustión completa y de esta manera evitar botar combustible por la chimenea a través del CO. Hoy en día las unidades modernas y algunas unidades repotenciadas utilizan varios analizadores de oxigeno en los gases de salida hacia la chimenea y además medidores de opacidad. Esto permite de acuerdo a los valores especificados por el fabricante del generador de vapor hacer los ajustes correspondientes. Como podemos ver en las ecuaciones siguientes usando como combustible el metano, en todo proceso de combustión completa se genera dióxido de carbono mas agua y en toda combustión incompleta se genera monóxido de carbono mas agua.



Presión de Escape del Generador

Mejorando la presión de escape del condensador, se logra mejorar la eficiencia de la turbinay por ende la eficiencia del ciclo. En la fig. 6 se puede observar como un aumento de 20 mmHg en la presión de escape en el condensador de una máquina, puede causar un incremento del Heat Rate hasta de un 5 %, lo que es equivalente a un aumento del consumo de combustible en ese mismo orden

El aumento en la presión de escape del condensador es evitado o corregido por medio de un plan de limpieza de los tubos, a través de maniobras operativas, y ajustes en el sistema de agua de refrigeración.

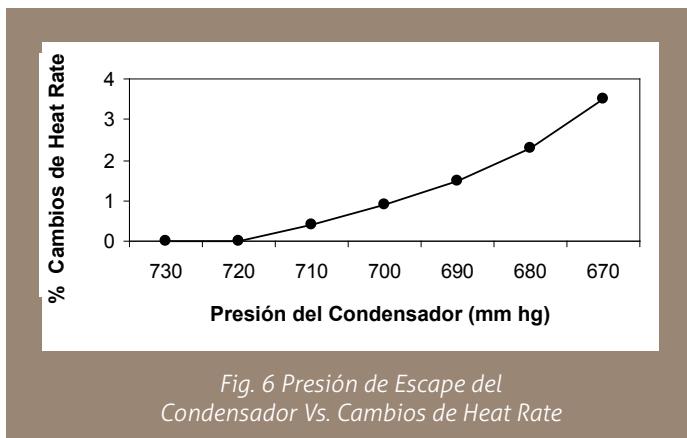


Fig. 6 Presión de Escape del Condensador Vs. Cambios de Heat Rate

Pre calentadores de Agua de Alimentacion.

Manteniendo en servicio continuo los pre calentadores de agua de alimentación, asegurarse que sus drenajes no sean conducidos al condensador y que las válvulas controladoras de nivel funcionen bien, permite reducir el consumo de combustible. Teniendo en servicio estos pre calentadores de una manera eficiente se logra que el agua de alimentación llegue mas caliente al generador de vapor con lo cual reduce el consumo de combustible. Existen unidades que derratean la capacidad de la unidad hasta un 15 % de su potencia nominal cuando sacan fuera de servicio los pre calentadores de alta presión. Esto se hace para prteger aal generador de vapor. En la fig.

7 podemos ver un esquema típico de estos equipos y el balance energetico

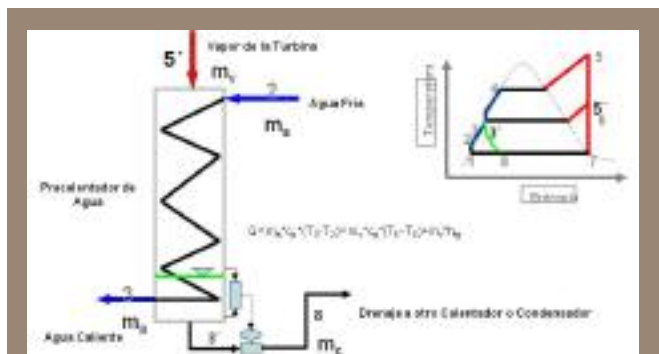


Fig. 7 Pre calentamiento del gua de Alimentación

Control de la Pureza de Hidrógeno

Mantener la pureza de hidrógeno para el enfriamiento en los generadores eléctricos por encima del 98%, reduce la pérdida de potencia como producto de la fricción dentro del generador por el aumento de densidad del gas. En la fig. 8 se puede observar que con una variación de un 5% en la pureza de hidrógeno por debajo de la pureza normal de operación en un generador eléctrico que opera con una presión de Hidrógeno de 60 lbf/in2 puede ocasionar una pérdida de potencia hasta de 1700 kW. Es por ello que se disponer de medidores de pureza en línea con alarmas que se activen cuando la presión llegue al valor seteado

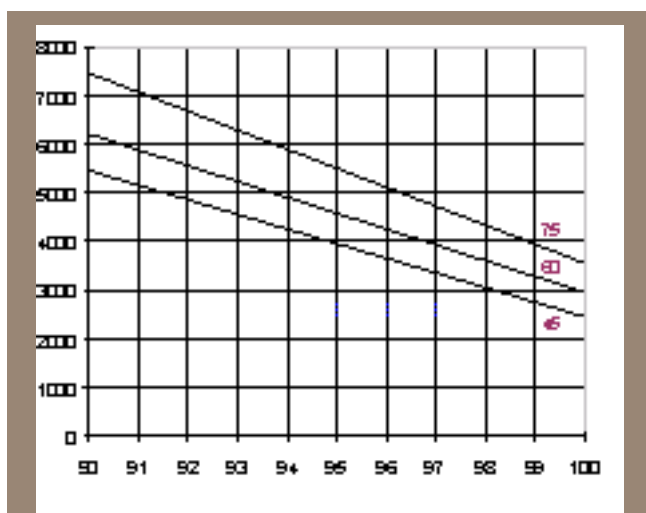


Fig. 8. Pureza de H2

Conclusiones.

- El monitoreo en tiempo real del Heat Rate, permite la inmediata corrección de cualquier anomalía que pudiera afectar esta variable y proporciona un método adicional para mejorar la eficiencia de la Planta. La habilidad para corregir rápidamente una condición fuera de rango puede proveer una operación mas eficiente de la unidad, con un ímimo de perdidas debido a la condición de ineficiencia observada. Adicionalmente este sistema hace posible el monitorear las condiciones de los parámetros de las unidades y tomar acciones correctivas rápidamente.

- Dentro de los elementos que afectan más la eficiencia de la unidad, se identificó la variable exceso de oxígeno como la más influyente; en pruebas de combustión realizadas en las diferentes calderas se pudo observar que el exceso de oxígeno puede ocasionar variaciones en el consumo de combustible hasta de un 10%.

- La optimización de los costos de producción de la energía generada, como producto de una mejora en el consumo de combustible, permite alcanzar precios competitivos dentro de mercados desrregulados.

- Toda variable que pueda ser cuantificada, puede ser Gerenciada.

- El costo de un proyecto para la medición del Heat Rate en tiempo real incluyendo, computadoras, medidores de energía generada, calorímetro, medidores de flujos de combustibles e instalación, puede estar aproximadamente en unos 200.000 \$.

- En la tabla número 1 se muestran los incrementos anualizados en dolares para una unidad de 400.000 KW, que tiene un Heat Rate de diseño de 9.800 Btu/kWh (poder calorífico alto) y que opera con un factor de capacidad de 75%. En esta tabla se puede observar que con una variación del Heat Rate del 1 % y con un costo de la energía de 1\$/MM Btu el costo anual por concepto de combustible se incrementa en 257.544,00. Esto nos dice que un proyecto como este, tiene un retorno de la inversión en menos de un año.

La ecuación número 2 muestra como calcular el incremento de costo.

$$IC = EG \times (HRa - HRd) \times CE \quad (2)$$

Donde IC es el Incremento del costo de combustible

EG = Pi *CF*HP= Energía Generada(kWh)

CF = Factor de Capacidad (%)

HRa= Heat Rate Actual (Btu/kWh)

HRd= Heat Rate de Diseño (Btu/kWh)

CE = Costo de la Energía (\$/MMBtu)

Pi = Potencia Instalada (kW)

HP = Número de horas del periodo considerado

		COSTO DEL COMBUSTIBLE (\$/MMBtu)				
		1	2	3	4	5
% DE CAMBIO HEAT RATE	1%	257.544	515.088	772.632	1.030.176	1.287.720
	2%	515.088	515.088	1.545.264	2.060.352	2.575.440
	3%	772.632	1.030.176	2.317.856	3.090.528	3.863.440
	4%	1.030.176	1.545.264	3.090.528	4.120.704	5.150.880
	5%	1.287.720	2.060.352	3.863.440	5.150.880	6.438.600

Condiciones:
 -Factor de Carga 75 %
 -Potencia Instalada de la Unidad 400 MW
 -Heat Rate Promedio 9800 Btu/kWh (944)

Tabla No. 1

Referencias Bibliográficas

1. Lou B. Mehl & Thomas R. White. Sargent & Laundy Chicago, Illinois. "Option to Reduce the Operating Costs at Fossil Power Stations.
2. Handbook for Thermal and Nuclear Power Engineering Society.
3. Experiencias del Autor

Biografía del Autor.

Alberto Fuentes nació en la Guaira, Venezuela, el 01 de enero de 1954. Se graduó de Ingeniero Mecánico en la Universidad Central de Venezuela (Caracas; Venezuela) en 1980. Su experiencia laboral de mas de 32 años en el área de plantas térmicas de generación incluye estudios operacionales, plantas de generación térmicas, estadísticas, control de perdidas, costos, finanzas, seguridad y planificación de mantenimiento. Su principal área de interés es la generación de potencia. Actualmente labora en La Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC). Adicional a su cargo dentro de CORPOELECT, ha sido Profesor en el área de termodinámica, transferencia de calor y generación de potencia en el IUPFAN y en la Universidad Central de Venezuela desde 1981

CENTRAL Soluciones Globales, es una empresa internacional especializada en el desarrollo y ejecución de proyectos de inversión en el campo de la ingeniería, procura y construcción de sistemas de compresión, transmisión y tratamiento de gas natural; así como facilidades en superficie de producción de petróleo y energía ecológica.

Además de prestar servicios de consultoría técnica especializada para el mantenimiento y operación de estas instalaciones.

*Creamos para Servir
y Servimos para Crear*



885 SW 149th Court,
Miami, USA, FL 33194
Phone: +1(786) 228.97.98

Av. Fernando Peñalver Nro. 120 El Tigre
Estado Anzoátegui Venezuela 6050
Teléfono: +58 (424) 830.93.07

www.centralgs.com

Av. Alirio Ugarte Pelayo
C.C. PETRORIENTE Nivel 02, Oficinas 52-05
Maturín Estado Monagas Venezuela 6001
Teléfono: +58 (424) 830.93.12

Av. Stadium C.C. NOVOCENTRO II Nivel 3, Oficina 3-3
Puerto la Cruz Estado Anzoátegui Venezuela 6023
Teléfono: +58 (281) 267.04.02 Fax: +58 (281) 267.57.10

Rif: J-31396255-24

Evaluación Estructural por Elementos Finitos de la Silla de Volcado utilizada en plantas de Laminado en Caliente

El mantenimiento predictivo y la gestión de activos se ha convertido en una disciplina de alta trascendencia en el mundo empresarial actual. Preservar los activos y predecir sus posibles fallas futuras es hoy por hoy una herramienta indispensable para toda empresa que se precie de competitiva y que aspire a mantenerse, en especial porque permite evitar el paro de la producción, o bien hacer gastos en mantenimiento que no se compensan con los niveles productivos, y que a la larga se convierten en pérdida de ingresos para la empresa en cuestión.

El presente trabajo aborda el estudio de un bastidor que soporta cargas estáticas y dinámicas del proceso de volcamiento de bobinas de acero, provenientes del proceso de Laminación en Caliente. Para el análisis estructural de dicho equipo, el autor se ha valido del método de Elementos Finitos, evaluando el actual desempeño cinemático y estructural del equipo y diversas opciones de soporte adicionales, para que este cumpla con las condiciones actuales de operación bajo normas internacionales que rigen la seguridad y la funcionalidad.

ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance contempla el análisis estructural de un bastidor que soporta cargas estáticas y dinámicas del proceso de volcamiento de bobinas de acero provenientes del proceso de Laminación en Caliente. Se utilizará el método de Elementos Finitos para estudiar la situación actual y evaluar las propuestas para adecuar los equipos a las normas internacionales en materia de seguridad y de funcionalidad estructural.

METODOLOGÍA

Con el análisis de una estructura en funcionamiento se pretende verificar su confiabilidad, funcionabilidad y factibilidad, estudiar sus zonas críticas y concentradores de esfuerzos, comparar condiciones de diseño original versus condiciones reales de operación, así como verificar los materiales empleados. Todo esto con el fin de obtener conclusiones concretas para la toma de

decisiones. Para esta sección se hace referencia a la norma ASME 30.20G Ed. 1999, en la sección 20-1.2.2 página, donde se indica: "Los componentes estructurales de elevación estarán diseñados para resistir las tensiones impuestas por su carga nominal más el peso de la estructura, con un mínimo factor de diseño de tres (3), sobre la base de límite elástico del material, no se debe exceder los valores indicados en ANSI/AWS D14.1 para las condiciones aplicables".

ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO Y CARGA DEL SISTEMA

En el manejo de las bobinas procedentes del proceso de laminado en caliente, se requiere dar un giro de 90° como se aprecia en la secuencia fotográfica de la Figura N°1.

En la Figura N°2 se visualiza el giro y la cinemática del mecanismo. Se observa un cilindro hidráulico en sus dos posiciones tope y trayectoria de trabajo para lograr el

giro de la silla cargada con una bobina y su retorno descargada. Son un par de cilindros hidráulicos que realizan esta acción. En el sistema se generan componentes de fuerza verticales y horizontales sobre el pivote "A" de los cilindros hidráulicos.

También se distingue que el centro de masa de las bobinas, desde las de menor hasta las de mayor tamaño, no coincide con el pivote "B" de la silla, lo que genera un momento flector en la estructura que cambia de sentido en la medida que la bobina comienza su giro. Estos valores se aprecian en la Tabla N° 1 y en las Figuras 3, 4 y 5.



Figura N° 1. Secuencia de Volcado de Bobinas de Acero

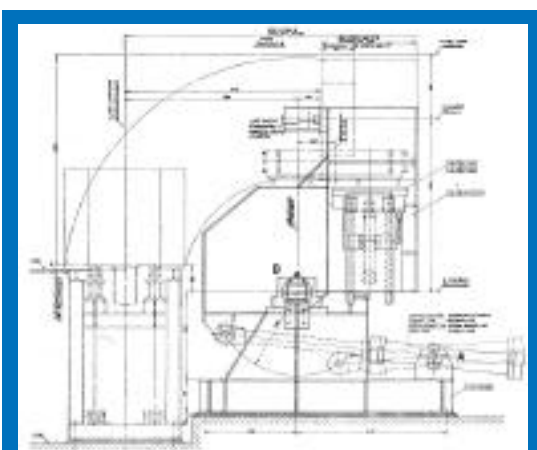


Figura N°2. Esquema de funcionamiento de la sillavolcadora de bobinas

Ángulo barrido Bobina (Deg)	Brazo (m)	Momento (N*m)	Ángulo Cil. hid. (Deg)	Fx (N)	Fy (N)	F Constante (Total) (N)
0	-0.945	-277830	7.168	342871.38	43122.71	345572.50
2	-0.873	-256662	7.0	342996.65	42114.69	345572.50
4	-0.803	-236082	6.80	343141.57	40917.16	345572.50
6	-0.733	-215502	6.60	343282.31	39719.12	345572.50
8	-0.663	-194922	6.40	343418.86	38520.60	345572.50
10	-0.593	-174342	6.20	343551.23	37321.61	345572.50
12	-0.523	-153762	6.0	343679.42	36122.16	345572.50
14	-0.453	-133182	5.80	343803.41	34922.28	345572.50
16	-0.383	-112602	5.60	343923.22	33721.97	345572.50
18	-0.313	-92022	5.40	344038.84	32521.25	345572.50
20	-0.243	-71442	5.20	344150.26	31320.13	345572.50
22	-0.173	-50862	5.0	344257.49	30118.63	345572.50
24	-0.103	-30282	4.80	344360.53	28916.76	345572.50
26	-0.033	-9702	4.60	344459.37	27714.54	345572.50
28	0	0	4.40	344554.01	26511.99	345572.50
30	0.070	20580	4.20	344644.46	25309.11	345572.50
32	0.140	41160	4.0	344730.70	24105.92	345572.50
34	0.210	61740	3.80	344812.75	22902.44	345572.50
36	0.280	82320	3.60	344890.59	21698.68	345572.50
38	0.350	10290	3.40	344964.23	20494.65	345572.50
40	0.420	123480	3.20	345033.67	19290.38	345572.50
42	0.490	144060	3.0	345098.90	18085.87	345572.50
44	0.560	164640	2.80	345159.93	16881.14	345572.50
46	0.630	185220	2.60	345216.76	15676.20	345572.50
48	0.70	20580	2.40	345269.37	14471.07	345572.50
50	0.770	226380	2.20	345317.78	13265.77	345572.50
52	0.840	246960	2.0	345361.99	12060.31	345572.50
54	0.910	267540	1.80	345401.98	10854.69	345572.50
56	0.980	288120	1.60	345437.77	9648.95	345572.50
58	1.050	30870	1.40	345469.34	8443.09	345572.50
60	1.120	329280	1.20	345496.71	7237.12	345572.50
62	1.190	349860	1.0	345519.87	6031.07	345572.50
64	1.260	370440	0.80	345538.81	4824.95	345572.50
66	1.330	391020	0.60	345553.55	3618.76	345572.50
68	1.40	41160	0.40	345564.08	2412.53	345572.50
70	1.470	432180	0.20	345570.39	1206.27	345572.50
72	1.540	452760	0	345572.50	0	345572.50
74	1.610	473340	0.20	345570.39	-1206.27	345572.50
76	1.680	493920	0.40	345564.08	-2412.53	345572.50
78	1.750	51450	0.60	345553.55	-3618.76	345572.50
80	1.820	535080	0.80	345538.81	-4824.95	345572.50
82	1.890	555660	1.0	345519.87	-6031.07	345572.50
84	1.960	576240	1.20	345496.71	-7237.12	345572.50
86	2.030	596820	1.40	345469.34	-8443.09	345572.50
88	2.10	61740	1.60	345437.77	-9648.95	345572.50
90	2.30	67620	1.847207	345392.92	-	345572.50

Tabla 1 Valores de carga y momento flector en la estructura

Se estudiarán las posiciones:
 Pos1 para máxima componente vertical generada por el cilindro hidráulico más una componente menor Fx y un Mz(-).
 Pos37 para máxima componente horizontal generada por el cilindro hidráulico más una componente menor Fy y un Mz(+).
 Pos46 para un máximo momento flector generado por la bobina justo antes de liberarla en la cinta transportadora más Fx y Fy.

Estas condiciones de carga se indicarán en el modelo de elemento finito y se analizarán los puntos críticos. Siempre se tendrá una condición de carga estática de 22+8 Ton sobre el bastidor, proveniente del peso de la bobina y de la estructura de centrado de bobina. El cálculo corresponde a una variación de cada 2° del recorrido de la bobina. Los valores máximos de cada posición se resumen a continuación:

Posición 1 (Máxima componente Vertical):
43122.71 N

Posición 37 (Máxima componente Horizontal):
345572.50 N

Posición 46 (Máximo Momento por Bobina):
676200.00 N.m

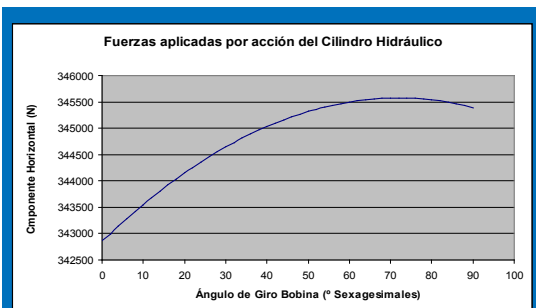


Figura N°3 Componente horizontal de fuerza sobre pivotes, Cilindro Hidráulico

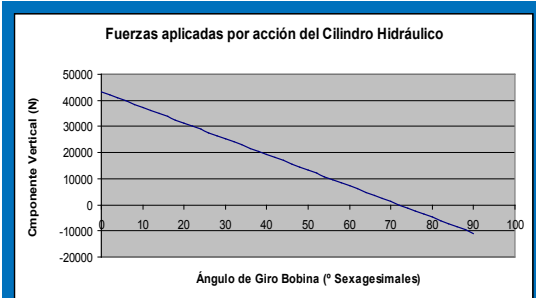


Figura N°4 Componente vertical de fuerza sobre pivotes, Cilindro Hidráulico

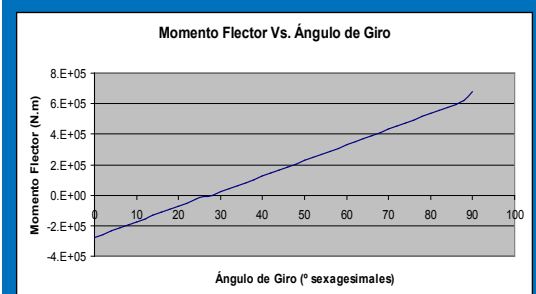


Figura N°5 Momento flector generado por el giro de la bobina

En la Figura N° 3 se aprecia como la componente de fuerza horizontal es creciente hasta los 72° de giro, y luego decrece hasta 90°. La Figura N° 4 muestra como la componente vertical actúa en un sentido hacia Y(+) y luego se invierte, generando un esfuerzo alternante de un sólo ciclo, que ocasionan efectos de fatiga a estudiar mas adelante. La Figura N° 5 muestra como el momento flector cambia de sentido según la regla de la mano derecha debido a que el eje del centro de masa de la bobina no coincide con el eje del pivote de la silla volcadora. Cuando estos ejes coinciden, el momento flector es nulo y justo después cambia de sentido ocasionando esfuerzos alternados y consecuentemente fatiga en un sólo ciclo. Estos efectos se repiten 720 veces por día con un período de dos minutos por ciclo. Para un año laboral de 11 meses y 4.5 días operativos por semana, se tiene Aproximadamente 158400 ciclos/año a la tasa referida.

Continúa en la próxima edición

Referencias Bibliograficas:

1. Beer, Johnston & Dewolf *Mecanica de Materiales* 3ra Ed.
2. Fereydoon Dadkhah, Jack Zecher (2008), *ANSYS Workbench Software Tutorial with Multimedia CD Release 11*
3. K. J. Bathe (1995): "Finite Element Procedures", Prentice Hall, 2nd edition. Información para cálculo cinemático: Según el plano 80045123018-00 SIDOR

Biografía del Autor:

Alexander De Jesus Marquez Marquez

Ingeniero Mecánico con once años de experiencia en el área de proyectos en industria petrolera y metalmeccánica. Amplios conocimientos en Diseño mecánico. Manejo de estándares API, ASME, ANSI, AISI, Normas PDVSA, COVENIN. Conocimiento en Normas NFPA, SAE, AWS.



AVEPMCO es la Asociación Venezolana de Profesionales del Mantenimiento y Confiabilidad, que promueve el intercambio científico, técnico y cultural de todas las personas naturales y jurídicas relacionadas con el Mantenimiento y la Confiabilidad que manifiesten interés en mejorar sus técnicas y conocimientos, intercambiar información, difundir conocimientos a la sociedad y colaborar con organizaciones públicas o privadas vinculadas con el tema.

Av. Jorge Rodríguez,
Centro Comercial Colonial,
Piso 1, Oficina 18,
Lechería, Edo. Anzoátegui. Venezuela

info@avepmco.org.ve
+ 58 281 423.70.10
+ 58 281 286.74.06
www.avepmco.org.ve

PREDICTIVA21

www.predictiva21.com

● ANUNCIA CON NOSOTROS