

En este número

Evaluación de Proyectos y Simulación de Montecarlo

Planeación de un Paro Programado

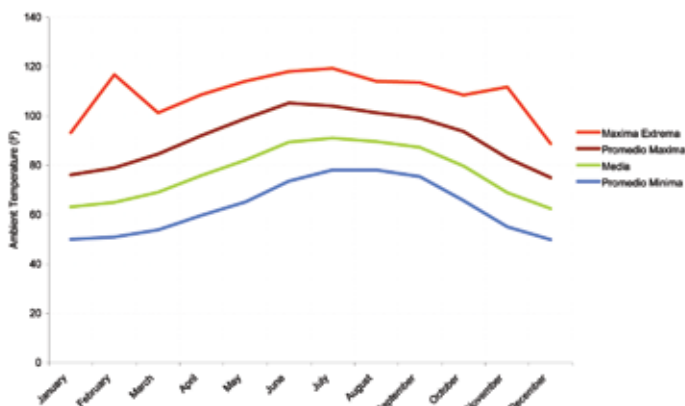
Fundamentos de Control de Turbinas de Gas

Evaluación de Proyectos y Simulación de Montecarlo

La industria de la generación eléctrica esta llena de retos y oportunidades. Uno de estos es evaluar de manera objetiva y certera un proyecto de inversión. Como en muchas otras industrias el retorno de la inversión de un proyecto está directamente relacionada con algún factor ambiental. Para propósitos de esta discusión nos enfocaremos en el impacto que tiene la temperatura ambiente en las razones financieras de un proyecto en sector de generación.

Como bien sabemos la temperatura ambiente impacta de manera directa la generación y la eficiencia de una planta de generación. Supongamos que se pretende invertir en la mejora de dos plantas una ubicada en Mexicali, y otra en Alaska. La mejora tendrá el mismo costo, ya que exactamente idéntica. Sin embargo, el retorno de la inversión de cada proyecto será muy distinto ya que dependerá de cómo ese proyecto impacte a la operación de la planta a distintas condiciones ambientales. Por ejemplo si quieren cuantificar los ingresos por generación, la primera pregunta será a que temperatura lo calculamos, a la temperatura promedio? Y que pasa en los caso en que en este sitio se experimentan condiciones extremas, muy caliente en verano y muy frío en invierno? En realidad la evaluación deberá de llevarse a cabo en el rango total de temperaturas históricas del sitio. A continuación se muestra el perfil de temperaturas típico de una central de generación.

Perfil de Temperaturas



Así que como vemos la temperatura varia bastante durante el año y a su vez puede variar si el año experimenta temperaturas extremas o no.

Para esto este tipo de análisis es que la modelación de Montecarlo nos ayuda a ver este proyecto de manera objetiva.

Simulación de Montecarlo

La simulación de Montecarlo es una simulación estocástica que permite analizar sistemas con varios grados de libertad. Actualmente existen varios programas de cómputo que permiten realizar simulaciones de forma amigable y fácil para el público en general.

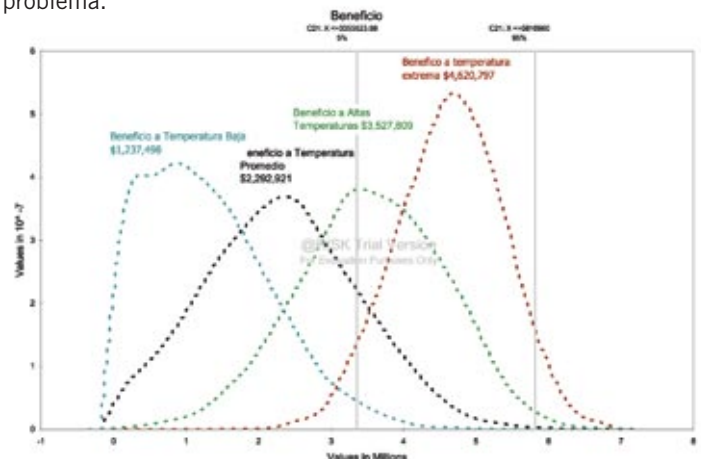
Básicamente consiste en sustituir números puntuales por funciones de probabilidad. Esto quiere decir que en lugar de usar 80F de temperatura ambiente para hacer la evaluación del proyecto, usaremos 80F de promedio, un desviación estándar de 15F y haremos la evaluación del proyecto basado en el rango completo de temperaturas. Por ejemplo si calculáramos los ingresos por venta de electricidad de una planta de 150MW a 50USD/kW-hr en un periodo de 8000 horas en un año sin usar probabilidades, obtendríamos:

$$\text{Ingresos} = 150\text{MW} * 50 \text{ USD/Mw-hr} * 8000\text{hrs} = \$ 60,000,000$$

Usando Montecarlo sustituiríamos 150MW por una función de probabilidad y por consiguiente obtendríamos una función de probabilidad para lo ingresos.

$$\text{Ingresos} = f(t,p,x) * 50 \text{ USD/Mw-hr} * 8000\text{hrs} = f(p,\text{precio},\text{horas})$$

De la misma forma podríamos hacerlo para el precio. Usando alguno de los programas comerciales de estadística obtendríamos por ejemplo este tipo de curvas para cuantificar el beneficio de una modificación. Esto permite que tomemos decisiones con información poderosa y que la evaluación se haga de manera objetiva. Estas curvas se obtuvieron después de realizar 10,000 iteraciones del problema.



Este tema hoy más que nunca es de suma relevancia debido a la alta variabilidad de los factores que impactan la evaluación de un proyecto, por ejemplo precios de electricidad, gas natural, temperatura ambiente, etc.

Planeación de un Paro Programado

Un paro programado de cualquier equipo cuya operación sea vital para los objetivos de producción de una planta debe tener un proceso de planeación adecuado para asegurar el cumplimiento de las metas de calidad, tiempo y costo requeridas. La planeación es el factor más importante para alcanzar el éxito al concluir el paro puesto que es la actividad que permite reducir al mínimo las tareas o situaciones inesperadas, mismas que comúnmente provocan aumento de costos, extensión de tiempos y estrés en el equipo, todo lo cual se refleja finalmente en la calidad del trabajo.

La planeación es un proceso complejo que no solamente implica la elaboración de un programa de trabajo (o calendario de eventos) que se limita a enlistar las actividades de manera secuencial y la duración de las mismas. El trabajo de planeación consiste en todas aquellas acciones que nos permitan contestar preguntas como las siguientes (previo al comienzo del paro):

- ✓ ¿Conozco los objetivos del paro?
- ✓ ¿Se ha comunicado al equipo de trabajo las expectativas que se tiene de ellos y la manera en que serán evaluados?
- ✓ ¿Cuál es el presupuesto aprobado para el Paro?
- ✓ ¿Cuento con los permisos necesarios para comenzar el trabajo?
- ✓ ¿Conozco los sistemas que tengo que bloquear como parte del LOTO (candadeo) requerido?
- ✓ ¿Tengo los candados y/o etiquetas requeridas para realizar el LOTO (candadeo)?
- ✓ ¿Cuál es el día límite para concluir los trabajos? (normalmente el día en que la empresa se comienza a ver afectada económicamente por la indisponibilidad (no programada) del equipo)
- ✓ ¿Cuál es el día deseado en que el trabajo debe concluir? (siempre antes del día límite)
- ✓ ¿Cuáles son los hitos del Paro?
- ✓ ¿Conozco los procedimientos de desensamble y ensamble?
- ✓ ¿Conozco los procedimientos de inspección y reparación adecuados?
- ✓ ¿Cuántos recursos humanos (y las características de cada uno) requiero? ¿Existe algún incremento o reducción de estos recursos en relación al cumplimiento de los hitos?
- ✓ ¿Se tiene coordinado el transporte y alimentos del equipo de trabajo?
- ✓ ¿Conozco a quien acudir en caso de alguna complicación técnica relacionada con el equipo y tipo de trabajo por realizarse?
- ✓ ¿Tenemos un plan de acción en caso de que hubiera algún hallazgo crítico que impida al equipo regresar a operación en su condición actual, o existiera alguna situación de fuerza mayor (elementos ambientales)?
- ✓ ¿Tengo los consumibles, avalados por el líder del proyecto y los coordinadores de área, disponibles o por lo menos conozco la fecha en que deben estar en planta? ¿Tengo una lista de dichos consumibles?
- ✓ ¿Tengo una lista de proveedores (consumibles, servicios profesionales, rentas de equipo y herramienta, piezas o repuestos) en caso de requerirla por alguna emergencia?
- ✓ ¿Cuento con las herramientas necesarias para la naturaleza del trabajo programado, avaladas por el líder del proyecto y los coordinadores de área?
- ✓ ¿Se requiere alguna herramienta especial para realizar este trabajo? ¿Cuento con ella?
- ✓ ¿Cuento con grúas, montacargas o equipos requeridos para realizar maniobras?
- ✓ ¿En caso de requerirse, tengo bases o estructuras para colocar piezas específicas?
- ✓ ¿Tengo todos los repuestos disponibles y conozco su ubicación? (es recomendable haberlos inspeccionado previo al paro)



Como se puede observar en las preguntas previas, es necesario conocer los requerimientos Temporales (calendario de trabajo, fechas límite, hitos), Humanos (técnicos, especialistas), Materiales (Repuestos, consumibles, rentas), de Seguridad, Administrativos y Financieros (permisos, presupuesto). Un error común en que se incurre al planear un trabajo de esta naturaleza es enfocarse únicamente a los requerimientos Temporales, pero debemos percatarnos que la falta de planeación en cualquier otro aspecto afecta directamente tanto al tiempo de ejecución, como a su costo y calidad. Mientras mejor preparados estemos, previo al inicio del paro, para cualquier eventualidad menor será el impacto que estas tengan en los objetivos del trabajo. Una buena filosofía de planeación es suponer y prepararnos para los peores escenarios.

Una preparación adecuada brinda confianza al equipo de trabajo y nos permite enfocarnos en la ejecución durante el evento, sin perder el enfoque por tener que remediar eventos para los que nos estábamos preparados adecuadamente. En alrededor del 90% de los casos en que un paro programado se retrasa, podríamos rastrear la causa raíz a una omisión durante el proceso de planeación.

Por Roman Olvera ~ *Project Manager*

Fundamentos de Control en Turbinas de Gas

Actualmente las turbinas de gas son ampliamente utilizadas en aplicaciones de generación de energía eléctrica. De acuerdo a [1] en México actualmente el 31.97% (15,590 MW) de la capacidad instalada efectiva utiliza la tecnología de turbinas de gas en el esquema de ciclo combinado y el 5.14% (2,509 MW) de la capacidad efectiva corresponde a generación a base de turbinas de gas en configuración de ciclo simple.

En una turbina de gas tenemos como entradas al proceso el combustible que se inyecta en la máquina así como el flujo de aire a través de ella, y se tienen como salidas del proceso el torque mecánico disponible en la flecha y los gases calientes de escape. Debido a esto la principal función del sistema de control en una turbina de gas es la de limitar y controlar el flujo de combustible suministrado al sistema de combustión para asegurar que las condiciones de operación se mantengan dentro de lo deseado y no se excedan los límites permisibles de operación de la turbina.

De acuerdo a [2] una turbina de gas puede ser representada utilizando el modelo mostrado en la figura 1. Este modelo es válido para representar el comportamiento de la turbina de gas en el rango de operación normal de la máquina que es entre el 95%-107% de velocidad nominal. El modelo a detalle se puede encontrar en [2].

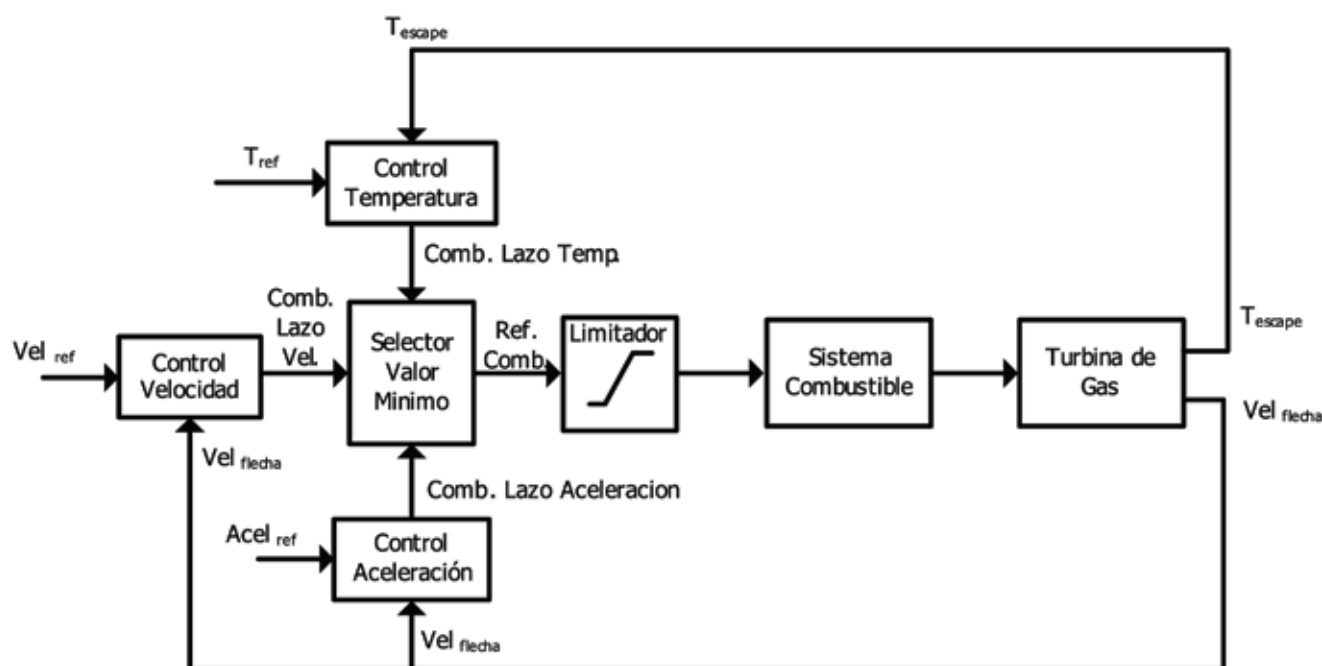


Fig.1 Modelo simplificado de una turbina de gas de acuerdo a [2]

Fundamentos de Control en Turbinas de Gas (Continuación)

Como se ve en el modelo existen tres lazos independientes de control que están tratando de controlar el combustible de la máquina en todo momento. Estos son el lazo de control de temperatura, el lazo de control de velocidad/carga y el lazo de control de aceleración. Estos tres lazos son lazos cerrados, es decir tienen una señal de referencia y una señal de retroalimentación y su regulador tiende a que el error entre éstas dos señales sea cero.

El lazo de control de velocidad es el lazo que toma el control del combustible durante la operación normal de la turbina mientras que los lazos de control de temperatura y aceleración tomarán el control del combustible en caso de que condiciones anormales se presenten en la turbina de gas.

La salida de cada uno de los tres lazos de control entra a un selector de valor mínimo, de manera que el valor de la referencia de combustible será igual a la salida del lazo de control que pida la menor cantidad de combustible.

Lazo de Velocidad/Carga

El lazo de velocidad/carga tiene como objetivo regular la velocidad de la turbina. Este lazo tratará de controlar el combustible de gas para mantener la velocidad de la flecha de la turbina (Vel flecha) al valor de una cierta referencia (Vel ref). Si la turbina de gas esta acoplada a un generador eléctrico y éste a su vez es sincronizado a una red eléctrica, la velocidad de la flecha queda determinada por la velocidad de rotación del campo magnético giratorio en el estator del generador. Debido a este fenómeno al incrementar la referencia de Velocidad del lazo de velocidad/carga la velocidad no se incrementará, resultando en un aumento de la potencia mecánica disponible en la flecha lo que se traducirá como potencia real generada (Watts) en el generador eléctrico.

Lazo de Temperatura

El lazo de temperatura controlará el combustible suministrado a la turbina de gas con el objetivo de mantener la máxima temperatura de fuego en la máquina. La temperatura de fuego se puede definir como la temperatura de los gases calientes a la salida del sistema de combustión y antes de entrar a la etapa de expansión en la turbina para producir trabajo mecánico. Al llegar esta temperatura a su máximo valor permitido, debido a las limitaciones físicas de los materiales en el hardware de combustión y turbina, el lazo de control de temperatura limitará el combustible suministrado a la turbina para no sobrepasar las condiciones de operación a la que fue diseñada la turbina. Es decir cuando el control de temperatura esté controlando el suministro de combustible a la unidad será cuando se haya alcanzado la máxima temperatura de fuego permisible y en este momento la unidad estará dando la máxima potencia mecánica disponible en la flecha.

Lazo de Aceleración

El lazo de aceleración protegerá a la unidad de posibles aceleraciones fuera de los límites permisibles en el rotor de la turbina. Debido a transitorios en la carga mecánica entregada en la flecha, la unidad podrá presentar cambios bruscos en la aceleración del rotor. Por otro lado durante un arranque desde velocidad cero, el sistema de arranque de la turbina de gas incrementará la velocidad de la flecha hasta que la combustión pueda controlar la velocidad regulando el combustible. Durante este proceso se tendrán valores altos de aceleración en el rotor.

Esta sobre aceleración podría resultar catastrófica si se sobrepasan los límites de esfuerzos mecánicos permisibles en el rotor. Debido a lo anterior el lazo de aceleración tendrá una referencia igual al valor máximo de aceleración permisible y en caso de que la aceleración real de la máquina sobrepase esta referencia, regulará la salida para mantener la aceleración siempre por debajo del máximo permisible.

Lazos Secundarios

Existen también otros lazos de control de combustible a los que les llamaremos lazos secundarios. Dentro de los lazos secundarios se encuentran en lazo de arranque y el lazo de paro. Estos lazos no controlan el combustible en el rango de velocidad considerado como normal para una turbina de gas (95% - 107%).

El lazo de arranque como su nombre lo indica controlará el combustible suministrado a la turbina durante el proceso de arranque de la turbina de gas. Este lazo es un lazo de control abierto, es decir regulará a cierta referencia de combustible y dependiendo de ciertos eventos, ligado principalmente a valores específicos de velocidad de la flecha, cambiará la referencia hasta llegar al 100% de velocidad nominal en donde el lazo de control de velocidad/carga tomará el control de la unidad.

Conclusiones

El presente artículo fue una descripción general de la filosofía de control de una turbina de gas y servirá como base para posteriores artículos donde se hará una descripción mas detallada de los mismos.

Referencias

[1] Comisión Federal de Electricidad, "Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2008-2017", Subdirección de Coordinación.

[2] W. I. Rowen, "Simplified mathematical representations of heavy duty gas turbines", Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Power, vol. 105, pp. 865-869, 1983.

Por Gerardo Navarro ~ *Control Specialist*