



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Reemplazo de sistema de control
de velocidad y extracción para
turbogenerador a vapor**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Gonzalo Farfán Ortiz

ASESOR(A) DE INFORME

M.A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

Índice

1.Introducción.....	1
2.Objetivo.....	2
3.Empresa	
3.1 Historia.....	3
3.2 Rol desarrollado dentro de la Empresa	4
4.Antecedentes	
4.1 Conceptos básicos.....	7
4.1.1 Sistema de control de turbina.....	9
4.1.2 Disparo ante velocidad.....	10
4.2 Gobernadores.....	11
4.3 Woodward 505.....	12
5. Modernización de equipo de control para turbina de vapor.....	14
6.Metodología	
6.1 Revisión de Planta.....	17
6.2 Revisión de diagramas eléctricos	
6.3 Desconexión y pruebas	
6.4 Cambio de equipo de control.....	18

6.5 Calibración de equipo nuevo.....	19
7.Resultados.....	20
8.Conclusiones.....	22
9.Bibliografía.....	23
10.Anexos.....	24

1. Introducción

El tema del presente trabajo trata acerca de un proyecto de cambio y modernización de un equipo de control de velocidad para turbinas de vapor de la marca Woodward®, dentro de una empresa dedicada al proceso del papel y cartón.

Comenzare por presentar a la empresa, que es lo que hace, su lugar en México y el mundo, así como mi papel dentro de la empresa y las características para acceder a esta posición.

Se expondrá una breve introducción de lo que es un gobernador, sus formas de operación para control, el desarrollo del proyecto, así como sus principales retos; la forma en que estos fueron solucionados y las observaciones finales del equipo ya en funcionamiento.

Se hará referencia a normas de seguridad y de protección de equipos de acción primaria como turbinas o motores.

Se dará una breve descripción de los equipos y de los parámetros que se manejan, para llevar a cabo tanto el control, la velocidad, así como también la carga, extracción, etc.

Al final se ilustran los resultados y se realiza un análisis del funcionamiento del sistema y se propone la recomendación de un sistema adicional de corte de combustible, en caso de emergencia.

2.Objetivo

Objetivo general:

- Realizar la modernización de un equipo de control para un turbo generador a vapor

Objetivos específicos:

- Realizar sistema de comunicación para monitoreo remoto
- Realizar diagramas eléctricos y unifilares para el desarrollo del proyecto e instalación
- Realizar diagnóstico de funcionalidad de los equipos existentes
- Realizar instalación y calibración de nuevo equipo de control

3.Descripción de la empresa

3.1 Historia



Drake Controls, fundada en 2002, es uno de los socios de negocio más grande de Woodward® a nivel mundial. Esta empresa es un Woodward® “*Recognized Turbine Retrofitter*” así como el centro de ventas y servicio autorizado por Woodward® en los territorios central, costa del golfo, y oeste de los Estados Unidos. Además de realizar operaciones en los Estados Unidos, *Drake Controls* también es responsable para los productos, sistemas, y servicios en la República Mexicana.

En adición a Woodward®, *Drake Controls* también representa a *Dynalco Controls* en ambos territorios de Estados Unidos y México. El objetivo en *Drake Controls* es proporcionar productos, soluciones y servicios técnicos de alta calidad a la industria de turbo-maquinaria y clientes externos.

Además de los productos y soluciones innovadoras para fuerza motriz, proporciona apoyo y modernizaciones a maquinas diésel y gas natural, así como sistemas de control para turbinas de vapor y de gas. También ofrecemos productos y soluciones para la generación y distribución de energía, controles para compresores, y monitoreo de condición.

Drake Controls está autorizado por la fábrica de Woodward® para proporcionar Servicio, Reparaciones, y Renovaciones. Cuenta con instalaciones de servicio en o cerca de Houston, Odessa, Los Ángeles, y Ciudad de México para apoyar a nuestros clientes a nivel mundial.



Figura 1. *Drake Controls* en el Mundo

3.2 Rol desarrollado dentro de la empresa

Mi participación en el Proyecto consistió en asistir a series de cursos de capacitación para poder entender, comprender y poder hacer uso de todos los parámetros disponibles dentro de los equipos; así como la comprensión de los principios de funcionamiento de los mismos, así como la participación en breves rotaciones dentro de otras áreas para tener una comprensión más amplia del conocimiento, funcionamiento y alcance de la empresa en general.

Dentro de los cursos mencionados se abordaron una serie de temas diversos, tales como:

- 1.-El principio de funcionamiento de un gobernador.
- 2.-La lógica de operación de los equipos de control.
- 3.-Los tipos de conexiones necesarias para el funcionamiento.
- 4.-Cuáles son los límites de operación de los equipos, así como sus ambientes de operación.
- 5.-La forma de establecer comunicación con los equipos, niveles de usuario existentes y su acceso, etc.

Para el manejo del equipo de control de velocidad, del cual se hablara a detalle más adelante, la duración del curso fue de alrededor de dos semanas, para teoría y práctica, se manejaron temas acerca del funcionamiento, tipos de dispositivos (montaje en panel o en cabina), condiciones y rangos de operación, tipos de protocolo de comunicación, constitución física del equipo, parámetros modificables, manejo de los menús dentro del equipo.

Posteriormente, llevé a cabo una serie de prácticas, simulando las condiciones de operación requeridas por algún cliente, en donde fue necesario llevar a cabo de manera individual las conexiones entre el equipo y una maleta de simulación de turbogenerador, establecer los diagramas de tiempo de arranque, diagramas de curva de arranque y calentamiento, así como la programación del equipo y botonera de control.

Para los sincronizadores se tomó un tiempo igual de dos semanas para desarrollo de teoría y prácticas, en donde aprendí las diferencias entre tipos de sincronización, condiciones necesarias para llevar a cabo la misma, control de carga y reactivos, consideraciones para conexiones, generación de líneas de control de sincronización y de igual manera llevar a cabo una serie de prácticas dentro del laboratorio de pruebas.

Al finalizar la capacitación de los equipos por separado, tuve que realizar un control completo de sistema tal y como se presentan en la industria, para ello utilicé los equipos presentados en los cursos, y fue necesario establecer de igual manera la programación por separado de cada uno; las conexiones necesarias para llevar el control de los equipos, el diseño de la red de comunicación para intercomunicar los equipos y agregue una botonera provisional para simulación de algunos parámetros.

Cada una de estas actividades fueron verificadas, modificadas, probadas y evaluadas, con la finalidad de prepararme de la mejor manera antes de poder salir a trabajar en los equipos en campo.

Dentro de la empresa desarrollé el rol de ingeniero de campo en etapa *junior*, en donde la meta es escalar posiciones hasta alcanzar una etapa *senior* o superior, tal como se ilustra en el siguiente organigrama.



Figura 2. Organigrama de la empresa

Para mi contratación dentro de la empresa fue necesario cumplir un perfil, el cual requería cubrir conocimientos sobre máquinas de corriente directa y corriente alterna, conocimientos de control, experiencia en manejo de sensores, como ultrasónicos y magnéticos, conocimientos de software como AutoCAD, conocimientos acerca de ciclos de generación eléctrica, requisitos de idioma como manejo de inglés, disponibilidad de horario y movilidad, conocimientos de electricidad y electrónica.

Como ingeniero de nivel junior mis obligaciones consistieron en realizar reportes de mis actividades y sus resultados dentro de periodos específicos; así como asignaciones por parte de un ingeniero instructor de mayor rango, como revisión de diagramas unifilares eléctricos y la creación de algunos.

Dentro de este puesto realicé una serie de tareas tales como la instalación de los módulos de control para control de turbinas (primeramente, en simulación y con ayuda de un técnico), en la cual se me asignaron una serie de especificaciones de funcionamiento, así mismo realicé la programación de los equipos para que se comportaran de la manera descrita y posteriormente agregue modificaciones para probar su funcionalidad.

Realicé tanto la programación de los equipos como el cableado necesario para poder utilizar una red de comunicación de RS485, RS232 y RS422, así como la creación de interfaces de SCADA para poder realizar control y monitoreo de parámetros específicos a distancia.

Para poder ocupar este puesto es necesario tener conocimiento de programación de PLCs, pues si bien no es aplicable para todos los proyectos, existen algunos que por su complejidad es necesario realizar la lógica de control con un equipo de estos y ese tipo de capacitación no es muy común dentro de la empresa, fue necesario conocer las diferencias de los componentes y sus parámetros de operación, pues se ocupan señales analógicas, digitales, voltajes de control de 0-5 [V] para las comunicaciones y voltajes de operación de $\pm 120[V]$ a $\pm 220[V]$ de operación.

4. Antecedentes

4.1 Conceptos Básicos.

Dentro del campo de ingeniería, ya sea para generación de electricidad, manufactura de productos, extracción de fluidos o cualquier otra tarea afín, es necesario hacer uso de turbinas y se requiere tener control de ella y sus parámetros en todo momento; esto se lleva a cabo básicamente con la ayuda de dos componentes, un controlador y un gobernador, el controlador puede ser electrónico o mecánico, lo cual influirá en el tiempo de respuesta de sistema, mientras que el gobernador puede ser hidráulico-mecánico o eléctrico-hidráulico, sus funciones son, por un lado, el controlador, en caso de ser eléctrico, se programa y se parametriza con las especificaciones de trabajo solicitadas por el cliente para que el equipo tenga una cierta respuesta, por ejemplo, el comportamiento de la curva de arranque para evitar velocidades críticas, y si se combina con un sincronizador se pueden controlar también los horarios de funcionamiento de un equipo como pueden ser horarios punta, generación en isócrono o en *droop*, paro de emergencia por sobre velocidad, etc. ; por otro lado, el gobernador se encarga de permitir y limitar el flujo de combustible hacia la turbina, lo cual es traducido en la velocidad de la misma.

Estos dos componentes, anteriormente descritos, trabajan en conjunto con algunos otros elementos tales como sensores, etapas de potencia, interruptores, etc. para generar el *loop* clásico (Figura 3) de control utilizado en ingeniería, en el cual se tiene un sistema del cual se obtiene uno o más parámetros, los cuales son resultado de la medición de un fenómeno físico y con la información obtenida se hace una corrección en la salida del sistema de modo que esta sea lo más parecido a una señal deseada.

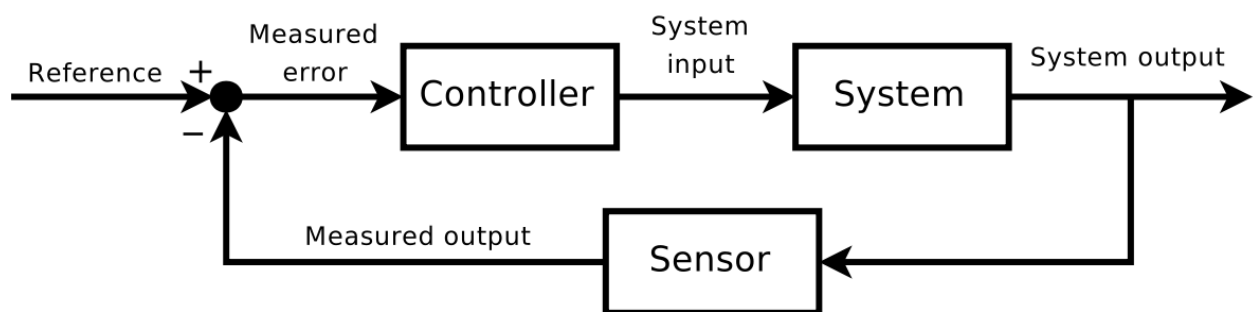


Figura 3. Sistema de Control en Lazo Cerrado

El uso de turbinas a nivel industrial se presenta generalmente, para generación de electricidad, aunque también sirven para realizar bombeo para transporte de fluidos o en barcos para generar la fuerza motriz de los mismos y permitirles desplazarse.

Para realizar dicha tarea, actualmente (a nivel mundial) se utilizan equipos que pueden provenir de varios fabricantes, en este caso se utilizaron los controladores de marca Woodward®.

Cuando se habla de generación se puede trabajar de dos maneras la primera es en forma de isla o en paralelo.

El primero de los casos consiste en un sistema aislado, en donde solo se tiene un generador, el cual soporta toda la carga que se demande, como puede ser el caso de los barcos en donde ellos mismos generan su propia energía y no están físicamente conectados a la red, o en industrias en donde no pueden permitirse tener variaciones en la red principal así que generan su propia energía eléctrica.

Mientras que en el segundo caso podemos pensar en uno o más generadores y/o trabajar con la acometida de generación local, en el caso de México es CFE®, en este caso podemos pensar en una carga base, la cual normalmente debe ser soportada por el o los generadores y todas las variantes de energía son absorbidas por la acometida, este es el tipo de conexión más utilizada.

Para poder realizar pues la conexión con todo el sistema completo se requiere realizar una sincronización, lo cual hace referencia a tener la casi la misma amplitud de voltaje, casi la misma frecuencia y casi el mismo ángulo de desfaseamiento.

No es posible generar los parámetros mencionados exactamente iguales, es físicamente imposible, debido a ruido eléctrico, vibraciones mecánicas, condiciones ambientales, etc., por ello se establecen valores de tolerancia que pueden ser muy pequeñas y cercanas a cero, pero nunca cero.

Para realizar las conexiones de tipo paralelo utilicé los equipos de la marca Woodward® **gobernador digital 505** y unidad de control (sincronizador) **easYgen**, ya que ambos equipos son los manejados por la empresa, además estos equipos presentan la característica de tener dualidad de alimentación de 24[VCD] o 120[VAC], lo cual los hace ideales para esta aplicación.

Para el correcto monitoreo del proyecto fue necesario intercomunicar los equipos de forma que pudieran saber cuándo debían realizar la sincronización, para ellos fue necesario implementar una red de comunicación que adicionalmente sirvió para crear un sistema de SCADA con el cual se facilitó el monitoreo y control de parámetros de forma remota.

Dentro de los conocimientos adquiridos dentro de la carrera, necesarios para llevar a cabo dicho proyecto, se pueden incluir, los tipos de conexión de instalaciones como delta y estrella en el caso de redes trifásicas pues es vital dentro del equipo para tener un control

real y con mejor precisión, los tipos de máquinas eléctricas como generadores, máquinas síncronas, transformadores y conexión de elementos eléctricos como relevadores, interruptores, etc.

Además, fue necesario establecer las conexiones con comunicación RS232 para la programación de los equipos y RS485 para comunicarlos entre ellos, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Red Modbus de 505 y

Las redes de comunicación se pueden realizar de dos maneras Half- y FullDuplex, de las cuales, adicional a la distancia, depende el tiempo de respuesta de los equipos; La primera conexión contiene dos hilos uno de base o referencia y otro de pulsos, en donde se transmite y recibe información por la misma vía, mientras que en la segunda estas vías están separadas, reduciendo a la mitad el tiempo de respuesta.

Cuando se requiere que el equipo de control sea instalado a pie de máquina y el monitoreo se haga en un cuarto de control a gran distancia, es necesario agregar resistores (normalmente de $120[\Omega]$), para compensar la impedancia de los cables de comunicación.

Para estas comunicaciones se deben tener un dispositivo maestro y de uno hasta 32 esclavos, el maestro sirve de monitoreo y control para los demás equipos, generalmente se trata de una PC, una laptop o un PLC.

4.1.1 Sistema de Control de la Turbina

Una turbina de vapor se mueve impulsada por el vapor producido en una caldera. El vapor es direccionado hacia la turbina y hace girar el rotor, transmitiéndole una potencia. La turbina es acoplada mecánicamente a un generador y este transforma la potencia mecánica de la turbina en eléctrica.

El regulador de velocidad del sistema tiene tres funciones básicas:

- Medir la velocidad actual de la flecha de la turbina
- Limitar el flujo de combustible hacia la turbina
- Mantener la velocidad dentro del nivel deseado

Los sistemas utilizados por las funciones de control han evolucionado con los años, las unidades viejas utilizan sistemas de control mecánico-hidráulicos, mientras que la mayoría de los reguladores empleados actualmente son electrohidráulicos o digitales-electrohidráulicos.

Cuando se quiere mantener un número de revoluciones constante, se debe regular la velocidad del turbo generador, en este caso de vapor, esta regulación debe ser directamente proporcional a la potencia para ser económica en el funcionamiento y/o en la instalación, pues si se utilizan amplificadores o reductores mecánicos, la velocidad requerida del turbogenerador deberá aumentar para compensar la conversión, de este modo se necesitan más aditamentos y más combustible.

El control mecánico, consiste en medir la velocidad del eje de salida y utiliza el movimiento de las llamadas “*flying balls*” como válvula reguladora de control de velocidad y por lo tanto la cantidad de vapor que entra a la máquina. Cuando la velocidad incrementa, los contrapesos se levantan y se aleja del eje de la flecha cerrando así la válvula.

Existe siempre un equilibrio entre, la potencia eléctrica del generador más las pérdidas, con la potencia aportada por el vapor a la turbina, este equilibrio se mantiene por medio de válvulas de regulación, las cuales dejan pasar más o menos vapor a la turbina según su apertura de acuerdo con la demanda de energía eléctrica, para lo cual se utiliza la variación del número de revoluciones como señal primaria de regulación

4.1.2 Disparo ante sobre velocidad

Cada turbina tiene sus propias características dependiendo del número de rotores, de la presión y de la temperatura de trabajo, de las velocidades posibles de rotación según el material de que estén hechos los elementos de la turbina que entran en contacto con el vapor; de hecho, cada turbina genera una familia de curvas, puesto que a velocidades diferentes rinden potencias de distintas magnitudes.

Las condiciones de trabajo de las turbinas están establecidas de acuerdo a los elementos con los cuales interactúan, por ejemplo en el caso de generación donde se tiene turbina-generador, la velocidad de la turbina debe ser la misma de la placa del generador para poder alcanzar la potencia deseada de trabajo, por lo tanto es vital que la velocidad se mantenga dentro de un cierto límite, de lo contrario se corre el riesgo de que se desboque

y ya no obedezca las señales de control para reducir la velocidad, esto representa un gran peligro pues debido a la gran masa de las turbinas, se produce una gran inercia, la cual es prácticamente imposible de detener.

Adicionalmente existen condiciones de trabajo que pueden ser críticas para la turbina, pues debido al diseño, tamaño, material, etc., al encontrarse en operación y alcanzar una cierta velocidad las vibraciones mecánicas de los componentes pueden hacer que la turbina entre en resonancia y si esta permanece mucho tiempo dentro de este rango de velocidades que la obligan a oscilar, podría destruirse de una manera explosiva, resultando en un gran daño, este rango de velocidades es conocido como velocidades críticas.

Es por esto por lo que, si la turbina se desboca, debido a la velocidad y vibraciones podría generar un desfase en la flecha de la turbina y su eje de giro o golpear con restricciones mecánicas que tratarían de frenarla, en ambos casos la turbina terminaría en destruirse parcial o totalmente además de daños de más equipos e instalaciones, sin mencionar que esto pone en riesgo la vida del personal como operarios, ingenieros, personal de mantenimiento, por mencionar algunos.

4.2 Gobernadores

Para controlar las fuentes de potencia primarias (F.P.P) como pueden ser motores eléctricos, motores a gasolina o Diesel, turbinas de vapor, turbinas de agua, turbinas de viento, etc., es necesario hacer uso de un gobernador, en esencia el trabajo de un gobernador requiere medir la velocidad o carga de alguna de las fuentes ya mencionadas y controla el combustible, para mantener la velocidad en un nivel deseado, aunque un gobernador puede también controlar factores externos que afecten directamente la velocidad o carga de las F.P.P.

En resumen, su trabajo es controlar la fuente de energía de la F.P.P para regular su velocidad y así ser utilizada para una tarea específica.

El ejemplo más claro para visualizar la forma de trabajo del gobernador es un auto, pues al conducirlo se tiene una referencia de velocidad, un pedal que regula el flujo de combustible hacia el motor y un usuario (en este caso el gobernador) que mide la velocidad del vehículo a través de un transductor que sería el tacómetro y si la velocidad actual del vehículo es superior a la permitida, ajusta la posición del pedal liberando la presión sobre este, para inyectar menos combustible, pero si la velocidad permitida es menor ejerce mayor presión sobre el pedal para incrementar la velocidad del vehículo.

Cuando un vehículo tiene un sistema de crucero, es decir con un gobernador interno, el usuario establece la velocidad del vehículo en una deseada, si el vehículo llega a una pendiente de subida, se permite un aumento en el flujo de combustible hacia el motor, pero si se encuentra en una pendiente de bajada, el flujo disminuye de modo que la velocidad permanezca constante y en la deseada, estos cambios de velocidad representarían una oscilación en el motor, pues existen instantes en los cuales la velocidad sobrepasa la deseada o se encuentra bajo de esta.

4.3 Woodward® 505

Es un controlador de la línea de Woodward® de para operación y protección exclusivamente para el uso de turbinas de vapor industriales. Estos controladores son configurables e incluyen pantallas diseñadas específicamente para esta línea, algoritmos y bitácoras de eventos para simplificar el manejo de turbinas de vapor industrial o turbo expansores, compresores, bombas, ventiladores industriales o generadores, es decir son equipos dedicados.

Este equipo está especialmente diseñado para llevar el control de las válvulas de vapor simples en donde se necesite control simple de turbinas de vapor, protección y monitoreo, este equipo cuenta con un panel de control de operador protección de sobre velocidad y almacenamiento de los eventos de disparo o alarma, lo cual lo vuelven un equipo ideal en proyectos donde el costo total del proyecto es una preocupación. Existen versiones más completas avanzadas de este controlador, las cuales incluyen lectura de entradas analógicas y digitales, módulos de expansión. Una de las posibles y más comunes y completas aplicaciones del 505 puede ser la mostrada a continuación en la figura 5.

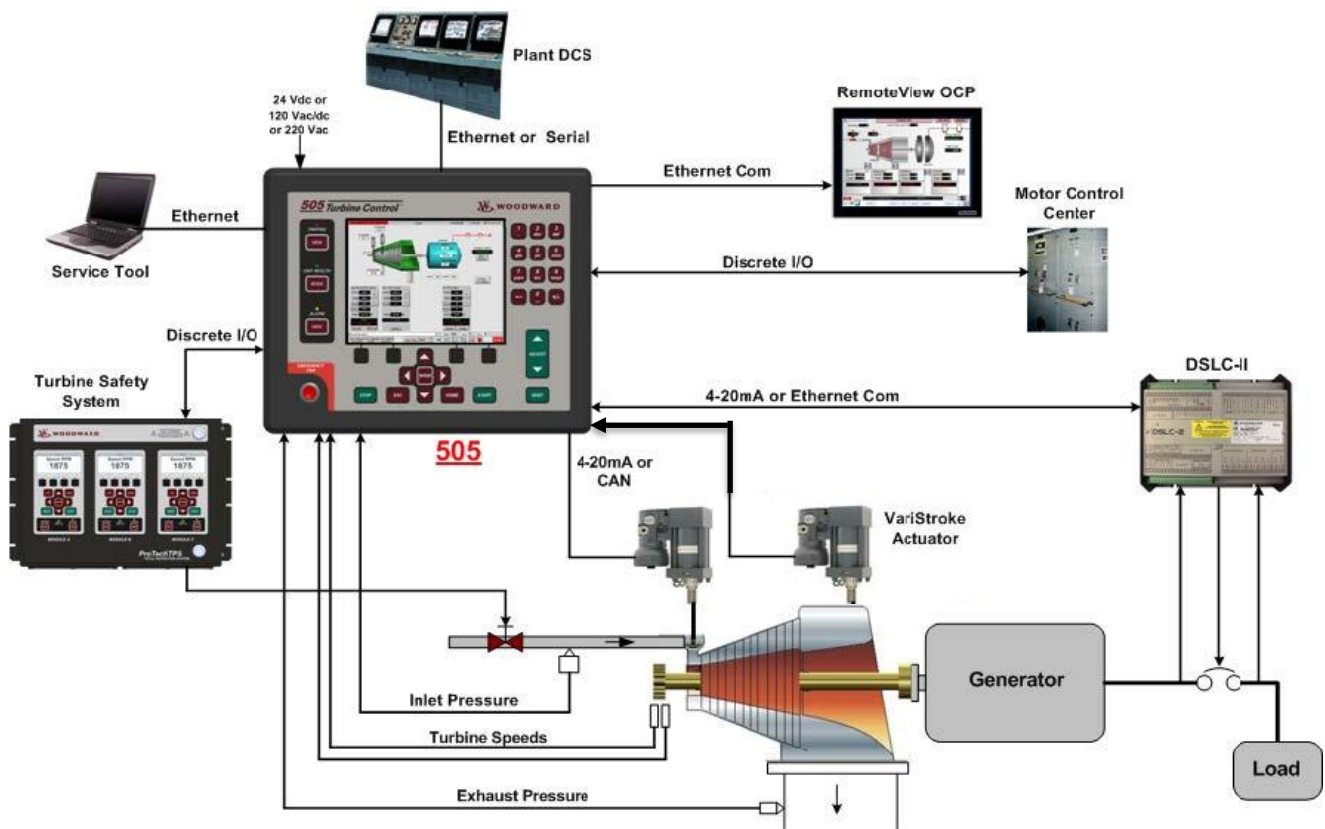


Figura 5. Esquema de control de turbina de vapor utilizando el 505

En donde podemos ver el 505 de control para la turbina de vapor, las señales de control del equipo son enviadas a los amplificadores hidráulicos, de los cuales uno permite el paso de vapor a la turbina y el otro permite realizar una etapa de extracción de la misma para aprovecharlo en otro proceso, también se tiene el sistema de protección de sobre velocidad que recibe la señal de la velocidad de la flecha y se conecta a una válvula de corte rápido, se tienen también los paneles de visualización y control remoto, así como una conexión de ethernet para realizar monitoreo y/o programación a distancia, que puede ser desde el cuarto de control o desde otro país y permite hacer modificaciones como si estuvieras a pie de máquina, por último, un sincronizador para permitir el reparto de carga entre el generador y la acometida.

5. Modernización de equipo de control para turbina de vapor

El proyecto realizado trata de la modernización del equipo de control para turbinas de vapor utilizado para generación de energía eléctrica dentro de una empresa cartonera ubicada en el estado de México.

Se requirió la modernización debido al deterioro a causa del tiempo, del equipo anterior, además de presentar una falta de orden dentro de la instalación de cableado, lo cual provocaba que resolver problemas requiriera una mayor cantidad de tiempo, lo cual en una emergencia representaba un gran riesgo y adicionalmente se pueden mencionar las ventajas que ofrece el equipo de última generación, respecto al equipo anterior. Este equipo se encarga del control de turbinas Westinghouse de 7500 [KW] acoplado a un generador síncrono de 2400[V], se realizó también el cambio de ruedas dentadas (tipo encoder) y *pick-ups* (sensores magnéticos) para medición de velocidad.

Dentro de esta empresa se tiene el equipo e infraestructura para su propia generación pues si bien no es completamente necesario mantener sus niveles de voltaje y frecuencia por cuestiones de locación, existe una ventaja en realizarlo a diferencia de solo comprarla a CFE, pues dentro del proceso de fabricación de papel se requiere secarlo, para lo cual se utiliza vapor de salida de la turbina, es decir existe un paso de extracción de la turbina.

Para esto se utilizan dos actuadores hidráulicos sobre los cuales el 505 tiene control y mantiene una proporción dependiente de la demanda, tanto para la generación eléctrica como para la extracción de vapor para el secado de papel, ambos factores generan un punto dinámico, el cual se mueve dependiendo de la demanda como se puede ver en la figura 6.

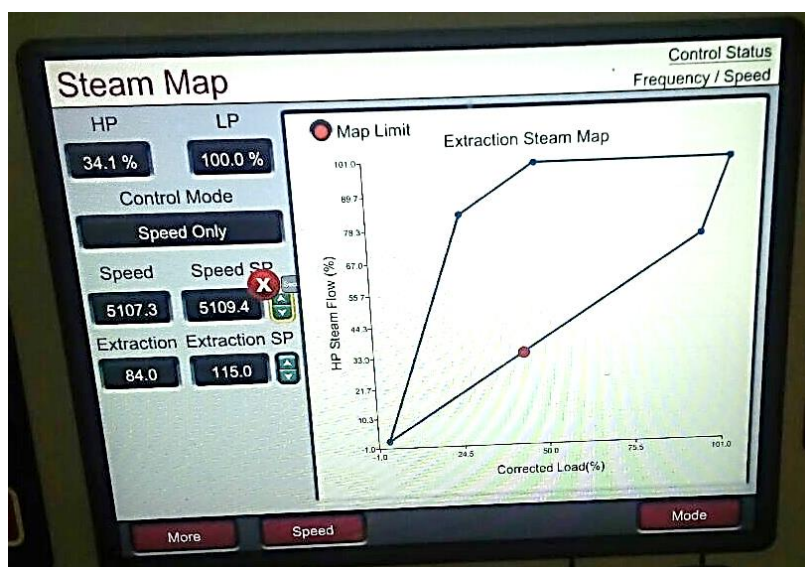


Figura 6. Mapa de extracción de la turbina

Una ventaja adicional es que al generar su propia energía eléctrica les es posible vender el excedente a CFE y así obtener una ganancia extra y aunque le es posible realizar una sincronización para producir en conjunto con CFE, la mayor parte del tiempo mantiene una producción en isla.

Para la modernización de este equipo fue necesario realizar un paro en la turbina, sin embargo, el periodo fue seleccionado por el cliente de modo que su demanda no representaba inconvenientes, pues dentro de su empresa se cuenta con dos equipos más de modo que solamente fue necesario realizar el reparto de carga hacia los otros dos equipos, que son una turbina de gas y otra turbina de vapor.

Se realizó el desacople mecánico que se tenía entre el generador y la turbina, para permitir que esta corriera sin poner en riesgo la integridad de ningún otro elemento y se realizó el diagnóstico de los equipos anteriores a partir de pruebas que consistían en realizar el cambio de los valores deseados de la velocidad de la turbina para exigir una mayor o menor demanda de vapor y así poder visualizar tanto el comportamiento como el tiempo de respuesta, se probaron las señales de los sensores de velocidad y se compararon con un tacómetro de laser externo, para verificar su fiabilidad, aunque no se encontró una diferencia significativa se realizó el cambio de todo el equipo de medición de velocidad, lo cual es el cambio de nuevos *pick ups* de velocidad y una nueva rueda dentada, la cual fue manufacturada por un tercero de acuerdo a las mediciones del tamaño de flecha de la turbina.

Para el cambio del equipo fue necesario realizar un nuevo cableado, el cual fue realizado de acuerdo a los diagramas eléctricos, aunque este se realizó en el mismo panel del equipo anterior fue necesario hacer el cambio de toda la botonera previa, para minimizar la probabilidad de error a causa de uno de esos elementos, dentro de este proceso uno de los retos principales es la instalación dentro de un espacio algo reducido, pues entre más elemento se van agregando, menor es el espacio para moverse, además uno de los factores más importantes es la presencia de ruido eléctrico, pues al momento de realizar el sistema de tierras se tenía una medición de voltaje de 1[V], que en principio no parece mucho pero puede llegar a afectar a los equipos, pues al existir esta diferencia de potencial puede existir un regreso de corriente, lo cual puede provocar un corto circuito, para solucionar esto fue necesario revisar de nueva cuenta el diagrama y verificar la conexión, se encontró una inversión en la conexión y se solucionó el problema.

Posteriormente fue necesario el ensamble de la nueva rueda dentada sobre la flecha de la turbina, para lo cual fue necesario destapar la turbina y dejar la flecha expuesta, se ocupó el mismo espacio de la rueda anterior para poner la nueva y se colocaron alrededor los sensores de velocidad, ajustándolos sobre la carcasa que protegía a la flecha y calibrándolos para tener una separación menor de 1[mm], la forma de lograr esto es casi

imposible, de forma que se ajustan para tocar la rueda dentada y luego se regresan una vuelta y media, fueron colocados también sensores de vibración para visualizar el movimiento de la turbina.

6. Metodología.

6.1 Revisión de Planta.

Previo a la realización de este proyecto fue necesario realizar una visita dentro de las instalaciones del cliente, por petición de este, para determinar el estado cual era el comportamiento de sus equipos, para lo cual se requirió que el equipo se encontrara sin carga para poder realizar tanto el diagnostico como las pruebas.

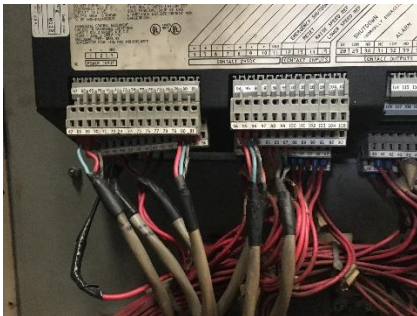


Figura 7. Conexión y equipos anteriores, previos a la modernización

Para observar el comportamiento del equipo y el movimiento de los parámetros se utilizaron las pantallas de monitoreo del cliente, así como la comunicación serial del equipo y herramientas de monitoreo externas (dentro de una laptop).

Se determinó que la respuesta del equipo ya no era la correcta pues según las especificaciones de funcionamiento la velocidad se encontraba sobre los niveles apropiados lo que se reflejaba como un aumento en la frecuencia de generación de 60Hz a 61Hz y al tratar de disminuir la velocidad se registraba el cambio en la entrada digital, pero la salida de velocidad no respondía a la señal de decremento.

6.2 Revisión de Diagramas Eléctricos

Se realizó la inspección del cableado eléctrico con la ayuda de uno de nuestros técnicos para verificar que el cambio en la respuesta no hubiese sido causa de una desconexión o una falla similar, se verificó tanto la conexión con los equipos de control, como con los equipos de monitoreo.

6.3 Desconexión y pruebas

En esta etapa se realizó un desmontaje del equipo y se trasladó a nuestras instalaciones para realizar pruebas en el laboratorio se determinó que la tarjeta interna presentaba

daños en los componentes eléctricos, los cuales no eran reemplazables, estos daños pudieron ser probablemente causados por electricidad estática de los operadores o alguna persona descuidada, otras de las causas posibles pudieron haber sido un mal sistema de tierras que provocara un mal aterrizaje.

6.4 Cambio de equipo de control

Se realizó el cambio de equipo y cableado, así como la conexión de los amplificadores hidráulicos, cuya función realizar el control de extracción de la turbina justo como se muestra en la figura 8.

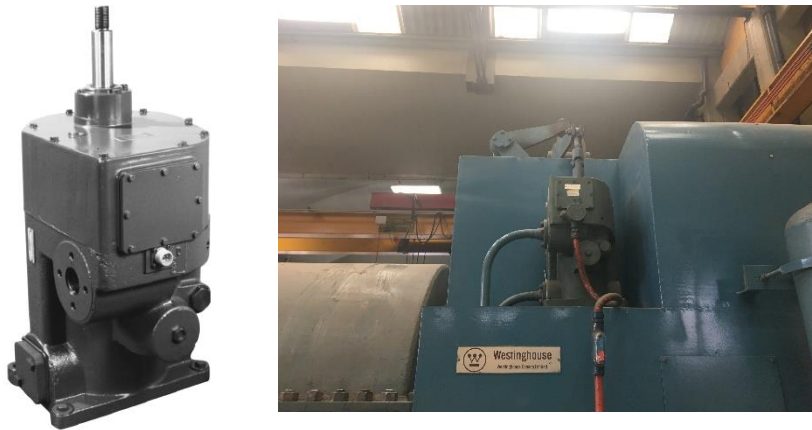


Figura 8. Actuadores hidráulicos para sistema de gobierno

La función de los actuadores es simple, de acuerdo con el diagrama de vapor o mapa de vapor y la demanda de este, se permite el paso de vapor para el condensado del ciclo de generación y también para el paso de extracción que se requiere para el proceso de fabricación de papel.

Para cambiar el equipo se realizó una medición completa de la lista de parámetros del equipo anterior para que al momento de realizar el cambio se establecieran las mismas condiciones de trabajo necesarias para los equipos.

Para realizar el cambio del equipo fue necesario cambiar no solo el equipo sino también el cableado y montarlo sobre el mismo panel por petición del cliente, se realizó un nuevo sistema de tierras para el mismo daño no se presentará de nueva cuenta.

6.5 Calibración de equipo nuevo

Una vez hecho el cambio de equipo se requirió hacer la programación, calibración y pruebas de funcionamiento para poder arrancar la turbina.

Dentro de la programación fue necesario evaluar inicialmente los parámetros incluidos en el equipo anterior y tomarlo como base para cumplir las mismas tareas que se encontraban establecidas, se modificaron una extensiva serie parámetros y se establecieron los valores de rango de operación, curvas de arranque en frío y caliente, bandas críticas, lectura de parámetros analógicos y digitales, comunicación con el resto de los equipos, diagrama de extracción de vapor, control de cascada para relacionar apertura de actuadores con velocidad de la turbina y horarios de trabajo, por mencionar algunos.

Posteriormente pruebas sobre los sistemas de seguridad como la prueba se sobre velocidad mecánica en donde se prueba el sistema externo de paro de sobre velocidad,

Debido a que el equipo eléctrico debe ser disparado antes del sistema mecánico, se requirió acceder al modo de prueba del equipo y obligarlo a subir la velocidad por encima de la permitida, este proceso se realiza desde el equipo eléctrico con autorización manual, de modo que, al liberar el control, automáticamente este regresa a sus valores de operación.

7.Resultados

Una vez realizado el cambio del equipo de control y el cambio de cableado del equipo se realizaron las pruebas de calibración del equipo de control, que consistían en realizar una rodada de la turbina dentro de velocidades bajas (300 a 1000 rpm) y realizar cambios en los *setpoints* de velocidad para verificar la respuesta y tiempo de asentamiento, posteriormente la puesta en marcha de la turbina por parte de la empresa, pero la presencia de nuestra empresa fue necesaria para determinar si algunos ajustes más eran necesarios, estos últimos se realizaron en el ajuste del PID de la turbina para disminuir la oscilación, de forma que el movimiento de la turbina fuera el más suave posible, lo cual era verificable a través de los sensores de vibración y velocidad.

La respuesta de la turbina al momento de la conexión del generador era sub-amortiguada, pero con picos no muy altos (abajo del 5% de la velocidad establecida) y con un tiempo de asentamiento normal para el tipo de turbina (10 a 20 min.)

En esta etapa fue necesario hacer las pruebas de sobre velocidad de forma que al superar la velocidad de trabajo se disparara tanto de forma eléctrica y el equipo mandara una señal de paro a la turbina, sin embargo también fue necesario probar los sistemas de paro mecánicos, los cuales se acoplan al eje de rotación de la turbina, este mecanismo consta de un perno, el cual esta calibrado para que al momento de sobrepasar una cierta velocidad sea expulsado y sobrepasa el radio de la flecha, lo cual causa que golpee una palanca, que acciona una llave de corte rápido.

Independientemente de que este equipo ofrezca el disparo por sobre velocidad eléctrica, es mucho más recomendable, establecer el sistema de protección eléctrico independiente al control de velocidad eléctrico pues en caso de que el sistema de control falle, la turbina debe estar protegida.

Con este tipo de pruebas se logró verificar la correcta funcionalidad del equipo en un caso crítico y también la funcionalidad de los sistemas externos, pues sí bien están ahí, pueden llegar a sufrir un grado de deterioro por falta de uso, por ejemplo, las válvulas que no son usadas pueden pegarse, y no estaría disponibles durante una emergencia.

La instalación final de los equipos se puede visualizar en las figuras 9 y 10.



Figura 9. Panel de control final de la turbina



Figura 10. Amplificadores hidráulicos para control de turbina y extracción

En donde se observan los amplificadores hidráulicos asociados a la alimentación de la turbina y la extracción de vapor, se observa de igual forma el 505 de control para la velocidad de la turbina y la botonera para regulación de parámetros asociados.

8. Conclusiones

Dentro de las conclusiones más importantes se puede destacar que se llegó a los resultados esperados, como lo fueron la correcta implementación del nuevo equipo de control y su compatibilidad con el sistema completo de la planta, adicionando elementos y características nuevas que brindaba el equipo, así como brindar funciones nuevas para mejorar el manejo del equipo por parte de los miembros de la planta, como los operarios, como lo es poder mostrar los puntos de operación del equipo de forma gráfica.

Se presentaron muy pocos inconvenientes, por cuestiones de espacio y manipulación del equipo, al momento de realizar el cableado y la colocación de la nueva rueda dentada sobre la flecha de la turbina y aunque fue necesario realizar algunas modificaciones sobre la marcha, estas fueron mínimas y se pudieron solventar sin ningún problema, como lo fueron consideraciones dentro de la programación del equipo debido a la diferencia de características respecto al equipo nuevo y el anterior.

Una observación importante es que, a pesar de que el sistema pueda parecer doblemente redundante debido a que el sistema cuenta con dos protecciones, la eléctrica, incluida como una característica del equipo nuevo, y el sistema de disparo mecánico externo, el cual ya se encontraba en las instalaciones del cliente, aun es conveniente realizar la instalación de un sistema de protección eléctrica independiente, el cual debe estar conectado a una válvula de corte rápido, la cual debe ser colocada previa a la alimentación de vapor de la turbina.

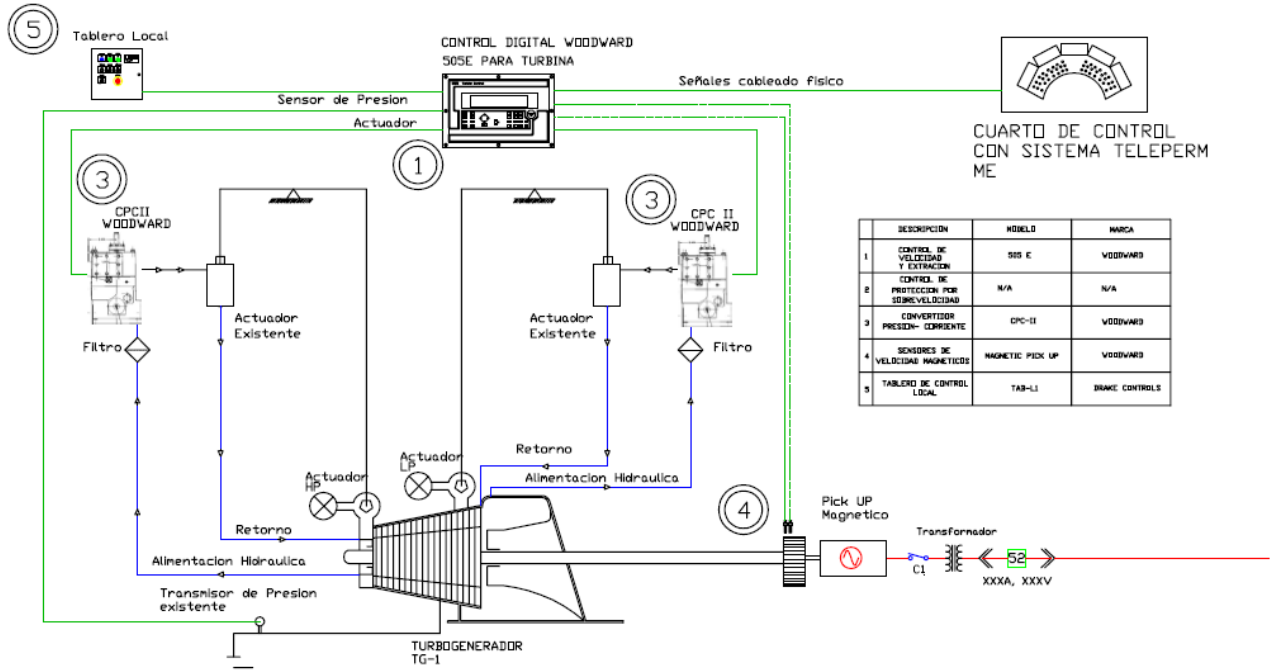
9. Bibliografía

- [1] Woodward, «Manual de woodward 505,» 7 septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.woodward.com/workarea/downloadasset.aspx?id=2147492236>. [Último acceso: 09 09 2018].
- [2] Woodward, «Informacion general del 505,» 7 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.woodward.com/workarea/downloadasset.aspx?id=2147492496>. [Último acceso: 09 09 2018].
- [3] Departamento de ingeniería mecánica, energética y de materiales, «imac,» [En línea]. Available: www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/asignaturas/emyv/pdfdoc/vib/vib_normativa.pdf. [Último acceso: 12 09 2018].
- [4] pemex, «Normas de proteccion de turbinas,» [En línea]. Available: http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6806/seeco2a11_C/seeco2a11_C.html. [Último acceso: 12 09 2018].
- [5] Woodward, «Quien es Woodward,» [En línea]. Available: <http://www.woodward.com/AboutWoodward.aspx>. [Último acceso: 12 09 2018].
- [6] Drake Controls, «Quien es Drake,» [En línea]. Available: <http://www.drakecontrols.com/?lang=es>. [Último acceso: 12 09 2018].
- [7] FRC West C., «Control Loops,» 2 1 2018. [En línea]. Available: <http://frc-west.github.io/courses/CSE1240/5-Input,OutputAndProgrammingMethodology/1-ControlLoops/>. [Último acceso: 12 10 2018].

10.Anexos

1.Diagrama unifilar de instalación

DIAGRAMA UNIFILAR



DESCRIPCION	MODELO	MARCA
1 CONTROL DE VELOCIDAD Y EXTRACCION	SIS E	WOODWARD
2 CONTROL DE PROTECCION POR SOBREVELOCIDAD	N/A	N/A
3 CONVERTIDOR PRESION- CORRIENTE	CPC-II	WOODWARD
4 SENSORES DE VELOCIDAD MAGNETICOS	MAGNETIC PICK UP	WOODWARD
5 TABLERO DE CONTROL LOCAL	TAB-L1	BRAKE CONTROLS