

Guía práctica para la modernización de turbinas industriales a vapor, mediante el dimensionamiento de sus principales equipos y sistemas a intervenir

Joseph Eli Izquierdo-Obando

joseph.izquierdo@pucese.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0610-089X>

Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas, Ecuador

Martha Leticia Moreno-Samaniego

martha.moreno.samaniego@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-1801-8552>

Universidad técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

Fernando Andrés Ortiz-Ballesteros

faortiz@espol.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-4860-3719>
Escuela Politécnica del Litoral, Ecuador

Elena Balarezo

ebalarezo@yachaytech.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3397-7585>

Universidad Yachay Tech, Ecuador, Máster en Ciencias Animales

Mauricio Alberto Masache-Heredia

mmasache204@puce.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3573-0049>
Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Natali Almeida-Arteaga

natali.almeida55@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-6476-340X>
Master en Control Automático y Robótica

RESUMEN

La modernización de procesos industriales es vital para mantener el giro de negocio de la manufactura. La mayoría de turbinas de vapor fueron creadas hace más de 30 años en la escala temporal, muchas de ellas indispensables para la generación de electricidad. Las Turbinas de vapor pueden entregar de manera fiable y eficiente inclusive de 100 a 200 MW al sistema nacional interconectado. La tecnología que acopla una turbina y sus sistemas auxiliares a un generador, se sigue desarrollando y es utilizada a gran escala a nivel mundial. En este artículo, se propone un esquema de automatización del sistema de control y sus sistemas de funcionamiento, de manera que toda empresa que este en camino de modernizar el equipo, pueda seguir esta guía para tener un sistema fiable.

Palabras claves: modernización de turbinas industriales.

INTRODUCCIÓN

Se requiere sustituir el sistema de control distribuido para reemplazo del sistema de control de turbina hidráulico existente, suministrada por el OEM de la turbina, el nuevo sistema por un sistema de tecnología digital de última generación basada en un sistema de control distribuido, para controlar la operación de la turbina de vapor, con una potencia real en sitio mayor a 100 MW. La turbina está acoplada a un generador sincrónico trifásico de potencia nominal en sitio 155 MVA, a 60 Hz, velocidad de 3600 RPM, y un factor de potencia de 0.85.

Para los propósitos del presente artículo cuando se haga referencia a el Sistema de Control de Turbina (SCT) estos incluyen los equipos y sistemas suministrados.

1.1. Requerimientos generales

El SCT deberá ser seleccionado de aquella línea o modelo que esté conformado por tecnología de punta, de acuerdo con normas internacionales, compatible con los futuros desarrollos tecnológicos, y que haya sido probada al menos durante un (1) año en la operación comercial de una central térmica de potencias mayores o iguales a 100 MW, o una versión nueva o revisión de un modelo ya probado. El Proveedor deberá mostrar evidencia de lo anterior basado en cartas de satisfacción para sistema de control que se está proponiendo.

El sistema propuesto debe ser un sistema de control distribuido diseñado específicamente para aplicaciones de generación eléctrica, permitiendo seguridad, tecnología confiable, control continuo y seguimiento de las operaciones bajo cualquier condición de la planta. El sistema debe permitir múltiples capas de redundancias integradas y diseño seguro del control lógico.

El SCT deberá ser capaz de llevar a la turbina desde su estado de reposo, hasta la velocidad comandada, bajo control de velocidad, con una precisión de 1% o mejor. Asimismo, el sistema debe ser capaz de conmutar de control de la velocidad a regulación de presión y viceversa. La sobre velocidad causada por un evento de rechazo de carga, a plena carga (100% de la carga) deberá ser menor o igual a 8% de la velocidad nominal. Esto es requerido solo por la acción del regulador.

Se deberá proveer una función para limitar la tasa de cambio de la velocidad. Se deberá proveer una función para ajustar el *set-point* de velocidad/carga, esta función debe tener en cuenta la curva pre-configurada, que limita tanto la tasa de cambio, como el máximo paso de velocidad, según la capacidad diseñada para la turbina. El Proveedor deberá familiarizarse totalmente con las instalaciones actuales y los requisitos del proyecto. Así mismo, deberá recopilar toda la información técnica necesaria, directamente de las instalaciones y de los documentos disponibles.

La lógica de control y enclavamientos de los elementos a integrar, será levantada durante la ingeniería de detalle. El nuevo sistema de control debe brindar flexibilidad y una capacidad de expansión mediante una construcción modular en la cual sea

posible agregar o reemplazar en caliente los componentes de hardware tales como módulos E/S o controladores a la configuración existente sin interrumpir la operación del sistema. También debe proveer la capacidad de agregar estaciones de operación o ingeniería, interfaces u otros nodos a la red existente sin afectar las comunicaciones. El sistema deberá de proveer capacidad multi-tarea (Hasta 5 tareas en tiempo real), adquisición de datos y ejecución de lógica de control. Las características Mínimas del Nuevo Sistema de Control deben ser:

Integración

Debe permitir manejo de redundancia; bases de datos y estructuras de base de datos; la integración de los componentes; integración de subsistemas y sistemas de supervisión; y la relativa sofisticación de las herramientas de configuración y de ingeniería. El sistema propuesto deberá contar con la capacidad de integrar otros equipos e instrumentos en la planta por medio del bus de campo: FIELDBUS FOUNDATION; lo que permite el acceso a la calibración, configuración y diagnóstico de los dispositivos.

Capacidad de ampliación

El sistema de control deberá estar diseñado como una plataforma independiente del sistema operativo utilizando los sistemas operativos comercialmente disponibles, con hardware que realiza un seguimiento de las últimas tecnologías y que permita actualizaciones de hardware y ampliaciones del sistema para aumentar la capacidad operativa.

Las herramientas de ingeniería deben permitir una configuración rápida para adiciones de nuevos elementos, beneficiando así la expansión del sistema. Esta función permitirá que el hardware adicional, como estaciones de trabajo, controladores y módulos de E/S se añada fácilmente sin interrupción a las actividades normales. Se deberá poder añadir y modificar en línea los esquemas de control simplemente con el uso de la herramienta de creación de gráficos.

Intuitivo Sistema de diagnóstico

Debe contar con diagnósticos intuitivos que permitan al personal de la planta determinar rápidamente dónde un problema del sistema puede residir. El mantenimiento del sistema debe mantenerse a un mínimo por la tolerancia y el diagnóstico de fallos integrada, siempre a través de los indicadores de estado de colores iluminados en los componentes del sistema, un sistema de alarma audible, y los gráficos de estado fácilmente disponibles para el operador del sistema.

Acciones de operador y control de cambios

El DCS debe soportar almacenamiento masivo y la recuperación de los datos de proceso, alarmas, secuencia de eventos (SOE), y las acciones del operador. Además, la función de seguimiento de auditoría de ingeniería seguimiento los cambios que se han hecho al sistema. Esta función añade un mecanismo automatizado para registrar eventos de ingeniería y proporcionar información de ingeniería lista para solucionar e identificar rápidamente la raíz del problema.

Seguridad

El sistema debe contar con la gestión de la seguridad como una parte estándar de su sistema. El sistema de control distribuido deberá incluir características estándar de seguridad que den solución a los diferentes tipos de problemas de seguridad tales como la autenticación de máquina, administración de contraseñas, estación de trabajo, inutilizando las actividades prohibidas, así como los permisos de usuario.

Alarmas

El sistema debe contar con gestión de alarmas, la estrategia de gestión alarmas deberá estar incorporada en el sistema.

Funciones matemáticas avanzadas

El DCS deberá contar con una biblioteca estándar de algoritmos como PID, avance-retardo, etc., así como contar con algoritmos avanzados que hayan sido diseñados específicamente para las industrias de generación de energía con turbinas a vapor.

Otras características que debe tener el sistema de control

Los tags del sistema deben tener una valuación cualitativa (calidad de la información) adicionalmente a la valoración cuantitativa (magnitud de la variable). La información de calidad de la variable debe poder ser utilizada en la lógica de control y las gráficas de proceso, además de quedar registrada en el historiador de proceso.

Los algoritmos de control deben poseer un mecanismo de tracking (seguimiento) de los algoritmos ubicados aguas debajo o de las porciones que no están en control para garantizar: a) Una transferencia sin sobresalto (bumpless transition) entre operación manual y automática, diferentes modos de operación o entre diferentes estrategias de control. B) Evitar la sobre integración (reset windup) de los controles PI o PID por saturación o limitación de algún elemento en la cadena de control.

Se deberá contener una base de datos de configuración unificada, de modo que solo sea necesario crear los tags una única vez y en una sola base de datos para que estén disponibles en todos los controladores y estaciones del sistema. El sistema debe incluir un registro de cambios de ingeniería (Engineering Audit Trail) que registre los cambios y modificaciones de control y configuración realizados además de usuario y la fecha. Esto permite una identificación y resolución más rápida de los problemas y su causa raíz, además de ser un requerimiento de seguridad de la NERC.

El sistema debe proveer todo el soporte requerido para cumplir con los requerimientos de NERC CIP. Todos los módulos de entradas digitales deben tener capacidad SOE. Todos los módulos de AI/AO deben tener capacidad FIELDBUS FOUNDATION integrada para poder aprovechar las capacidades de diagnósticos predictivos integrados en los transmisores y posicionadores actuales o futuros. La topología de red debe ser estrella redundante y estar basada en el estándar IEEE 802.3 (Ethernet). El licenciamiento debe ser a perpetuidad, sin límite de tags, gráficas de proceso y lógica de control. El único límite debe ser de la capacidad del hardware suministrado. Los paneles de operación local deben tener las mismas funcionalidades y capacidades de una estación de control. Las fuentes de alimentación de los controladores deben ser redundante y la falla de una de ellas no debe afectar ningún controlador, es decir que una falla de fuente no puede propagarse como una falla de controlador.

Todos los controladores deben ser redundantes. El sistema debe proveer una guía para el operador accesible desde cada mensaje de alarma (Alarm Guidance). La arquitectura del sistema debe ser Peer-to-Peer y garantizar la operación sin servidor de base de datos de tiempo real ni servidores HMI. La siguiente tabla resume las especificaciones para el sistema de control distribuido:

Funcionalidad	Descripción
Redundancia	Redundancia de controladores
	Redundancia de fuentes de alimentación
	Redundancia de comunicaciones
Programación/ Configuración	Configuración Drag & Drop (arrastrar y soltar)
	Rastreo de cambios en la configuración de dispositivos
	Características para auditar configuraciones
Tecnología de Control Avanzada	Lógica difusa
	Tecnología de red neuronal
	Tecnología Auto-tuning
	Control Predictivo Multivariable
Servicios y Soporte	Soporte técnico mundial 24/7
	Servicios para configuración
	Servicios para mantenimiento de hardware
	Soporte de software & Soporte de actualizaciones
Manejo del sistema	Histórico de eventos
	Secuencia de eventos
	Manejo de accesos
	Base de datos global
	Estampa de tiempo para alarmas
Arquitectura del sistema	Integración con equipos de terceros por medio de comunicaciones industriales
	Escalable
	Soporte para OPC
	Manejo de tiempos en el sistema
	Diagnósticos del sistema
Aceptaciones en el sistema	Capacidad para sincronización de tiempos
	Actualizaciones en-línea

Funcionalidad	Descripción
	Modificaciones sin apagar el equipo
	Soporte para control en el sitio
	Alarmas y eventos OPC
	Escalabilidad
	Capacidad de simulación de I/O

El nuevo sistema de control distribuido (DCS) deberá ser específico para las industrias de generación eléctrica, garantizando la optimización en la operación y la maximización de la disponibilidad y confiabilidad de la planta. Además el DCS deberá ser capaz de manejar como mínimo las siguientes funcionalidades.

Interfaz HMI: Debe almacenar los componentes de la interfaz de HMI, tales como gráficos de operación, y mostrar estos desplegados a solicitud del operador. Las Funciones de Operación también deben poder administrar las bases de datos de los objetos y registrar datos históricos, todo basado en una arquitectura que permita configuración y acceso desde diferentes puntos de la plataforma. El sistema debe proveer actualizaciones de los datos de procesos de la planta cada segundo, con acceso hasta 200,000 puntos dinámicos.

Históricos: El sistema debe proporcionar la captura, administración y análisis de datos de diferentes fuentes, de controladores de proceso, interfaz hombre-máquina y equipos de terceros en tiempo real y realizar el histórico los mismos. Esta aplicación debe tener un motor que le permita efectuar cálculos complejos, contabilidad de costeo en tiempo real, asimismo debe tener la capacidad de archivar y almacenar datos para su análisis posterior. La función de históricos debe proporcionar almacenamiento y recuperación masiva de datos de proceso, alarmas, secuencias de eventos (SOE), y acciones de operario para sistema de control.

Manejo de Reportes: Proporcionar acceso móvil a través de cualquier teléfono inteligente o tableta, y los cuadros de mando KPI entregados a través del portal del software. El sistema debe permitir crear plantillas utilizados por el administrador de reportes, incluir plantillas predefinidas de informe que proporcionan layout, tipos de letra, gráficos, y otras definiciones de presentación que pueden ser solicitadas fácilmente para la creación rápida y sencilla de informes. Además, debe permitir que los formatos existentes sean modificados para generar informes personalizados que consideren fórmulas especializadas para ligar valores y descripciones de puntos en el sistema de control. Los formatos del informe serán basados en mensajes que proporcionan el registro de alarmas, acontecimientos de operación, y de datos de eventos. Las impresiones o los archivos guardados de informes deberán permitir una variedad de formatos (por ejemplo Microsoft Word y Excel, HTML, CSV, texto).

Protección con Antivirus: Permite mantener el sistema en seguridad libre de virus, auto diagnóstico, corrección.

Operación del Sistema: Permite la operación de la unidad desde las pantallas HMI para los de procesos regulatorios, arranque de motores, manejo de reportes, históricos, alarmas, eventos.

Configuración y desarrollo del sistema: Permite la configuración de parámetros del sistema hacia las: pantallas HMI de procesos regulatorios, arranque de motores, manejo de reportes, históricos, alarmas, eventos.

1.2. Requerimientos de Disponibilidad

El sistema deberá demostrar una disponibilidad del 99.95% garantizada por el fabricante del sistema de control distribuido. El sistema deberá demostrar el tiempo medio entre fallas (MTTF) para los equipos específicos de control suministrados.

1.3. Sistema de Regulación

El controlador debe regular el flujo de Vapor hacia la turbina en función de los diversos parámetros del sistema, así durante el arranque, debe controlar los servo-actuadores, para controlar la aceleración de la unidad por medio del lazo de control de arranque. Al alcanzar un 95% de la velocidad el control se transfiere al lazo de control de velocidad / carga, el cual controlará la velocidad de la unidad hasta que sea sincronizada, a partir de entonces ese mismo lazo controlará la potencia activa generada por la unidad, de manera que en un sistema robusto tipo barra infinita le impondrá las condiciones de voltaje y frecuencia y el operador de la unidad fijará el nivel de potencia reactiva y potencia activa. El regulador será del tipo digital, programable. De manera referencia se presenta la función de transferencia referencial para el regulador de velocidad/carga según el estándar IEEE 122-1991.

1.4. Parámetros básicos del sistema de regulación

Estabilidad, el sistema deberá controlar la velocidad en forma estable operando el sistema en vacío o con carga y a la velocidad nominal. Además deberá poder controlar la potencia en forma estable operando el generador aislado o en paralelo con otros generadores del Sistema Nacional Interconectado. La magnitud de las oscilaciones producidas por el sistema de regulación de velocidad/carga, del generador operando de forma aislada, bajo una carga estable, no deben superar $\pm 0.07\%$ de la velocidad comandada, según el estándar IEEE Std 122-1991.

Banda muerta de frecuencia, la magnitud de la variación de velocidad, para la cual no se registre ningún desplazamiento en las válvulas de regulación, no deberá ser mayor de $\pm 0.06\%$ de la frecuencia nominal.

Tiempo Muerto, se considerara un tiempo muerto de 200 milisegundos, para variaciones súbitas de carga.

Estatismo permanente (*Droop*), el sistema deberá ser adecuado para que la máquina opere establemente con una carga aislada (modo isocrónico) y operar adecuadamente con las máquinas interconectadas al sistema barra infinita (modo regulación de potencia, *Droop*). En el modo *Droop*, la velocidad de respuesta debe ser alta de manera que el grupo pueda ser regulado por medio de un control automático de generación (AGC), o con cambios locales en el *setpoint* de potencia ejecutados por el operador.

Ajuste de velocidad, se deberá poder ajustar el *setpoint* de velocidad desde la consola de operador. El *setpoint* de velocidad será ajustable desde el 95% de la velocidad nominal sin carga, hasta el 108% de la velocidad nominal.

Ajuste de Carga, se deberá poder ajustar el *setpoint* de carga desde la consola de operador. El *setpoint* de carga deberá ser ajustable desde el 10%, hasta el 100% de la carga nominal del grupo.

Anticipador de Carga, será necesario implementar una función que cierre las válvulas de regulación (admisión e Interceptación), de forma rápida, en el evento de una pérdida rápida/imprevista de carga o por la apertura del interruptor de la máquina.

2. Reemplazo de la Unidad de Potencia Hidráulica.

Se deberán proveer los elementos y equipos para el reemplazo del sistema de potencia hidráulica existente. Se debe considerar un nuevo sistema de potencia hidráulico (HPU por sus siglas en inglés) con tecnología actual y que sea integrable a la solución propuesta. El nuevo sistema de potencia hidráulica debe considerar como mínimo:

Bombas: Bombas de pistón de volumen variable totalmente compensadas, con presión compensada, sistema redundante con una bomba siempre en espera y comenzará si la descarga de presión en la bomba primaria cae por debajo del punto de ajuste. Las dos bombas principales deben ser bombas de pistón axial compensadas por presión, de volumen variable. Los motores tienen que tener diseño TEFC clasificado para servicio severo y emplean un montaje de bomba tipo c-face.

Acumuladores: Los acumuladores del sistema (uno ubicado en la HPU) actúan como depósitos de fluidos presurizados y proporcionan respuesta rápida a las demandas del sistema durante los rápidos desplazamientos de las válvulas.

Enfriamiento: Se debe proporcionar sistema de enfriamiento por agua para mantener la temperatura del fluido dentro del rango de operación normal.

Depósito de fluido hidráulico: El depósito de fluido hidráulico debe ser de acero inoxidable con un deflector interno, vidrio del sitio, boquillas descendentes de la línea de retorno terminadas por debajo del nivel del fluido, conexión de drenaje con válvula de aislamiento, calentador eléctrico interno, respiradero de aire y placa de cubierta de acceso. El depósito debe ser montado en un soporte elevado para proporcionar a todas las bombas una succión inundada. Las líneas de retorno del sistema deben entrar por la parte superior del depósito y terminar por debajo del nivel del líquido para reducir la formación de espuma.

Filtros: se deben suministrar todos los elementos de filtrado para mantener la calidad y limpieza del aceite, los filtros deberán tener capacidad de filtración de 3 micrones, elementos de filtro de alto colapso.

2.1. Reemplazo de los actuadores actuales y modificaciones mecánicas.

Se deberán proveer los elementos e interfaces necesarias para el reemplazo de los actuadores para las válvulas de regulación (Válvulas de Admisión e Interceptación). Se deberán integrar también al sistema las válvulas de paro (2). Sin embargo no será necesario el cambio de los actuadores de estas válvulas. El sistema deberá permitir el rodaje en frío de la máquina solo en

Arco Total. El arranque en caliente de la maquina podrá hacerse en Arco Total o Parcial. Ver Apéndice 5 -Procedimiento de rodaje de la turbina.

2.2. Cambio de Actuadores

Se deberán cambiar los actuadores de las válvulas de admisión (2), Toma (2) e Interceptación (2), por servo actuadores modernos, e integrarlos al SCT. Actualmente estas válvulas son accionadas por Servomotores hidráulicos. El contratista realizara una estudio mecánico, que incluya el detalle de los implementos y actuadores a utilizar, una descripción completa del trabajo de cambio de los actuadores. Este estudio deberá ser presentado para aprobación por parte de CELEC TE antes de la instalación final de los actuadores. El contratista realizara el cambio de los actuadores según el plan presentado.

Los actuadores nuevos deberán ser de tecnología de punta, esto con la finalidad de apoyar la operación de cierre durante una condición de disparo. Todos los servomecanismos constaran de bobinas dobles, cada actuador debe ser suministrado con un LVDT doble. Los detalles necesarios para ofertar estos elementos deberán ser levantados durante la visita técnica. Se considera que las especificaciones detalladas del funcionamiento de la turbina, incluyendo el ajuste fino de esta, es información que posee el OEM de la turbina, por lo que el contratista deberá contratar con la experiencia de trabajos de reemplazos mecánicos en turbinas de vapor, demostrando que el contratista cuenta con la capacidad del reemplazo del sistema basado en la información original del OEM y de la información recabada en sitio.

Los actuadores deberán contar con filtros tipo dúplex con interruptor de presión diferencial. El control de limpieza del fluido hidráulico es de suma importancia para el buen funcionamiento de los equipos, por lo que el sistema de filtros se debe instalar aguas arriba del bloque de disparo, para garantizar la mejor calidad de aceite a este dispositivo.

El sistema de filtración debe permitir el reemplazo de los filtros con la unidad en operación, y el interruptor de presión diferencial le debe indicar al operador en la sala de control cuando uno de los dos filtros existentes necesita ser reemplazado.

2.3. Esquema de Protecciones de la Turbina

El esquema actual de protecciones de la turbina es el implementado durante la construcción de la central, los disparos son accionados mediante instrumentos hidráulicos que "cortan" la presión de aceite de regulación a los servomotores. Con el tiempo se han añadido nuevos sensores que miden la condición de la turbina (vibraciones, temperaturas...etc.), que son monitoreados desde el DCS, por los operadores, mas no disparan directamente la turbina. El presente artículo define los requerimientos relacionados con la protecciones de la turbina. Los rangos de disparo serán definidos durante la etapa de ingeniería de detalle. Las protecciones mecánicas de la turbina deberán ser conservadas. Las protecciones mecánicas cuentan con una indicación remota de disparo la cual deberá ser integrada al esquema de disparo del SCT. El bloque de disparo deberá actuar directamente sobre la electroválvula de disparo de la turbina. El controlador de la turbina deberá contener la lógica específica para el disparo de la turbina.

2.3.1. Bloque de Disparo

Será suministrado un bloque de disparo de emergencia con autodiagnóstico, que será encargado de despresurizar rápidamente un cabezal de disparo de turbina, permitiendo la parada de emergencia de la turbina. Este elemento deberá liberar de forma inmediata la presión de aceite presente en la válvula de paro, de modo que el actuador correspondiente se cierra de forma instantánea, deteniendo así la turbina.

El bloque de disparo debe tener circuitos hidráulicos internos redundantes, permitiendo la utilización de lógica 2 de 3 independiente del sistema de control, lo cual además de garantizar un sistema robusto debe permitir el autodiagnóstico del dispositivo con la unidad en operación. Este autodiagnóstico debe poder probarse mientras la turbina está en operando.

El bloque de disparo deberá estar diseñado a partir de un sólido bloque con todas las conexiones de campo en puertos tipo junta tórica, específicamente el diseño estándar SAE.

El bloque de disparo deberá ser un elemento que haya sido utilizado en proyectos previos para este tipo de aplicaciones.

Toda la instrumentación asociada a disparo deberá ser triple (3), se deberá implementar un esquema de votación 2 de 3, con el fin aumentar, la confiabilidad de la función de protección.

Será mantenido el esquema actual de supervisión de vibraciones, sin embargo, este deberá integrarse mediante indicación doble (cableado directo o *hardwire*) al esquema de protecciones. Es decir, la señal de disparo por vibraciones provendrá del sistema CEMB.

El bloque de disparo deberá contar con filtros tipo dúplex con interruptor de presión diferencial. El control de limpieza del fluido hidráulico es de suma importancia para el buen funcionamiento de los equipos, por lo que el sistema de filtros se debe instalar aguas arriba del bloque de disparo, para garantizar la mejor calidad de aceite a este dispositivo.

El sistema de filtración debe permitir el reemplazo de los filtros con la unidad en operación, y el interruptor de presión diferencial le debe indicar al operador en la sala de control cuando uno de los dos filtros existentes necesita ser reemplazado.

2.3.2. Protección por sobre velocidad

Será suministrado un sistema de protección digital para sobrevelocidad independiente del controlador del regulador de la turbina, este sistema deberá estar certificado TÜV (SIL3) - según la norma IEC 61508:2010. El nuevo sistema deberá proporcionar la medición de velocidad y detección de dirección de rotación y debe estar conformado por de tres módulos monitores de protección que permitan lógica 2 de 3.

El sistema de protección de sobrevelocidad deberá estar integrado en la cadena de disparos y adicionalmente permitir una interfaz con el sistema de control distribuido de forma cableada y también por medio un protocolo de comunicación industrial.

2.3.3. Instrumentación

Se deberá proveer, instalar e integrar al esquema de protecciones elementos de medición primario (sensores) para las siguientes señales:

Causa	Limite	Parámetro	Descripción
Baja Presión de Vapor & Baja Temperatura de Vapor	Menor a 112 Kg/m ² & (and) Menor a 455°C	PT-201	Presión Válvula de toma derecha
		PT-202	Presión Válvula de toma izquierda
		TT-811A	Temperatura Vapor vlv de interceptación izquierda
		TT-811B	Temperatura Vapor vlv de interceptación derecha
Alta Temperatura del Aceite	Mayor a 85°C	TT-236	Temperatura Aceite turbina entrada al enfriador
		TT-237	Temperatura Aceite turbina salida del enfriador
Temperatura de Cojinetes	Mayor a 107°C	TT-240A	Temperatura Metal Cojinete Empuje A Turbina
		TT-240B	Temperatura Metal Cojinete Empuje B Turbina
		TT-240C	Temperatura Metal Cojinete Empuje C Turbina
		TT-240D	Temperatura Metal Cojinete Empuje D Turbina
		TT-241	Temperatura Metal Primer Cojinete Turbina
		TT-242	Temperatura Metal Segundo Cojinete Turbina
		TT-243	Temperatura Metal Tercer Cojinete Turbina
Alta Temperatura de Vapor	580 °C	TT-811A	Temperatura Vapor vlv de interceptación izquierda
		TT-811B	Temperatura Vapor vlv de interceptación derecha

Los sensores de medición de temperatura serán del tipo RTD (PT-100). Para la instalación de los sensores RTD se deberá utilizar cable compensado, especial para la instalación de este tipo de sensores. Los RTD deberán ser cableados directamente a tarjetas de entradas especiales para este tipo de señales, sin ningún tipo de transductor intermedio. Adicionalmente se deberán proveer, instalar e integrar sensores, para la medición de las siguientes señales: Velocidad de la máquina – 3 sensores pasivos (*Pick Ups* magnéticos) + 1 sensor activo (*Pick Ups* magnéticos) + 1 sensor pasivo de respaldo (en total 5 sensores). Los sensores de velocidad serán cableados a tarjetas de velocidad independientes que permitan ejecutar una lógica 2 de 3. Sobre velocidad de la máquina – 3 sensores pasivos (*Pick Ups* magnéticos). Los sensores de velocidad serán cableados a tarjetas de velocidad independientes que permitan ejecutar una lógica 2 de 3.

Rueda dentada y accesorios de montaje de sensores *Pick Ups* magnéticos considerados en la presente solución. La rueda dentada suministrada debe estar balanceadas durante su manufactura, y se debe entregar el respectivo reporte de balanceo. De esta manera, se garantiza que el balance existente de la turbina no será afectado por la adición de nuestros equipos. Caja de paso o *Juntion Box* para el cableado de sensores *Pick Ups* magnéticos considerados en la presente solución. Posición de las válvulas de Admisión e Interceptación y toma – 2 Sensores tipo LVDT por cada válvula. Para asegurar la confiabilidad de las protecciones del nuevo sistema el contratista deberá reemplazar los sensores actuales. Bloque de monitoreo de presión de suministro, cabezal de disparo, cojinete de empuje, aceite de rodamiento y vacío). Con la intención de monitorear la presión de suministro, cabezal de disparo, cojinete de empuje, aceite de rodamiento y vacío, se debe considerar el suministro de cinco (5) bloques de monitoreo de presión. Este dispositivo estaría comunicando constantemente al sistema de control distribuido la presión en los puntos de suministro, cabezal de disparo, cojinete de empuje, aceite de rodamiento y vacío. En el

evento de una pérdida de presión, el sistema de control debe tomar las acciones necesarias para protección o regulación en base a esta señal de presión. La presión de vapor debe ser monitoreada constantemente por tres transmisores individuales, de modo que es posible aplicar la lógica de falla 2 de 3 a esta lectura. Cada transmisor debe ser aislado de forma individual, por lo que se pueden reemplazar uno a la vez con la unidad en operación.

Se deberá entregar el certificado de calibración de fábrica, de todos los sensores suministrados. Se deberá entregar una palanca manual de disparo, con cobertor e indicador de posición. La función de la palanca manual de disparo es proveer un medio de paro de emergencia, para cualquier operador que se encuentre en las cercanías de la turbina.

Este dispositivo está conectado a la línea de parada (en paralelo con el bloque de disparo) y cuando es activada liberará la presión causando el cierre del actuador hidráulico y su correspondiente válvula. Esta palanca debe tener un indicador de posición, que está conectado al sistema de control distribuido, de modo que su operación debe quedar registrada en el historiador del sistema, además de ser monitoreada en tiempo real por el operador en la sala de control.

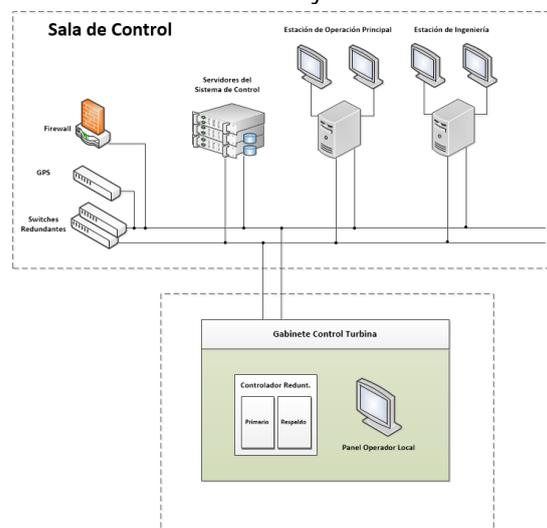
2.4. Arquitectura de Control

Se deben incluir todos los equipos, dispositivos, materiales, accesorios y servicios para la instalación, implementación, configuración de una arquitectura con tecnología abierta, escalable, segura tanto en hardware como en software que le permitirá la integración de los equipos y sistemas como el control regulatorio de caldera y auxiliares de planta, sistema de alarmas y otros como sistemas de protecciones, sistemas de seguridad, sistemas de comunicaciones, procesadores, registradores.

La arquitectura del sistema de control debe ser redundante a nivel de redes de comunicación, procesadores, redes de control, fuentes de poder y switch.

La arquitectura del sistema de control estará constituida con equipamiento electrónico el cual será protegido para trabajar en condiciones de temperaturas y humedad controladas por el sistema de aire acondicionado en la sala de gabinetes, permitiendo que las condiciones en los gabinetes sean las óptimas para los equipos de control en su interior.

Las fuentes de alimentación de cada gabinete serán redundantes y tendrán la capacidad de alimentar a todo el sistema tanto individualmente a los controladores ambos al mismo tiempo, módulos de entrada/salida, sistema de comunicación, instrumentación de campo y otros propios del sistema que permita el buen funcionamiento. En caso de avería en una de las fuentes de alimentación o de sus sistemas de suministro de voltaje esta remitirá una alarma en la secuencia de eventos.



2.5. Interfaz de Usuario

Se deberá proveer 2 interfaces de usuario: Una (1) Consola de operador, instalada en el centro de control de la central. Una (1) Panel local de operación, instalada en el grupo de tableros del SCT. El panel local de operación deberá ser del tipo industrial con pantalla de mínimo 15 pulgadas de diagonal y tipo *Touch Screen*. El panel local deberá contar con las mismas funciones de una estación de operación ubicada en la sala de control. Los servidores para manejo del sistema también deberán ser considerados. Tanto la consola de Operación, como el panel local, deberá estar en capacidad manejar gráficos de:

- Tendencias
- Tablas
- Objetos Dinámicos

La consola del operador permita realizar las funciones de supervisión y control, y el panel local de operación permitirá realizar solo funciones de supervisión, de los equipos asociados al SCT; para lo cual hará uso de los programas de aplicación respectivos y deberá permitir la realización, como mínimo, de las siguientes funciones:

- Despliegues gráficos para indicación del estado de los equipos.
- Comando sobre los equipos.
- Monitoreo de las variables de medida.
- Supervisión de las alarmas y eventos tanto de los equipos bajo control como del propio SCT.

Se deberá presentar en una pantalla, el listado de eventos y alarmas, en orden cronológico, con la debida estampa de tiempo, puesta por el controlador u otro equipo, según el caso. La interfaz de usuario contara con una base de datos de eventos y alarmas, capaz de guardar la información por un periodo mínimo de 6 meses. Se deberá contar con una función que permita exportar fácilmente la información almacenada en la base de datos de eventos y alarmas a MS Excel.

2.5.1. Consola de Ingeniería

Se deberá suministrar una consola de ingeniería, en donde debe instalarse todos los softwares necesarios para la parametrización, configuración y diagnóstico del sistema.

Se deberá entregar las licencias de todo el software, instalado tanto en las estaciones de ingeniería como en la estación de operación.

2.5.2. Equipos de Computación del Sistema de Control.

Entre los equipos de computación que se deberán suministrar para el nuevo sistema de control se consideran los siguientes:

Estación de operación Principal. Debe cumplir como mínimo con lo siguiente:

Cada estación de operador debe contar con la posibilidad de monitorear y operar todas las pantallas o gráficas de control del sistema de control.

Tipo Escritorio/Desktop.

Teclado y mouse/touchpad/trackball USBs.

Procesador Intel Core i7-7700, 64 bits, 4.2 GHz o superior, V pro Chipset Q 270/Intel HD Graphics 530.

Dos unidades de almacenamiento redundante con al menos 2 TB de capacidad (configurado en RAID 1).

16 GB (2x8 GB) DDR4 2133 Mhz de memoria RAM.

Unidad DVD/RW Red Intel I219LM Gigabit.

Sistema Operativo Windows 10 PRO o superior.

Dos (2) monitores de 24", tipo LED, con resolución VGA/HDMI/DP (1680x1050) + 1 cable HDMI.

Dos (2) tarjetas de video 2Gb Csm Gddr3 VGA DVi, Hdmi, Pci. Exp 2.0.

Dos interfaces Gigabit Ethernet.

Debe ser ubicada en la Sala de Control.

El panel local de operación. Debe cumplir como mínimo con lo siguiente:

Panel PC Industrial de 64 bits.

Pantalla táctil de mínimo 15 pulgadas.

4 Puertos USB

1 Puerto Serial RS-485

1 Puerto VGA Graphics y DVI-D Graphics

2 Puertos RJ-45, Ethernet

Debe ser ubicada en la puerta del tablero de control.

La estación de Ingeniería. Debe cumplir como mínimo con lo siguiente:

Además de las tareas de ingeniería deberá contar con la posibilidad de monitorear y operar todas las pantallas o gráficas de control del sistema de control, como si fuera una estación de operación.

Tipo Escritorio/Desktop.

Teclado y mouse/touchpad/trackball USBs.

Procesador Intel Core i7-7700, 64 bits, 4.2 GHz o superior, V pro Chipset Q 270/Intel HD Graphics 530.

Dos unidades de almacenamiento redundante con al menos 2 TB de capacidad (configurado en RAID 1).
16 GB (2x8 GB) DDR4 2133 Mhz de memoria RAM.
Unidad DVD/RW Red Intel I219LM Gigabit.
Sistema Operativo Windows 10 PRO o superior.
Dos (2) monitores de 24", tipo LED, con resolución VGA/HDMI/DP (1680x1050) + 1 cable HDMI.
Dos (2) tarjetas de video 2Gb Csm Gddr3 VGA DVi, Hdmi, Pci. Exp 2.0.
Dos interfaces Gigabit Ethernet
Debe ser ubicada en la Sala de Control.

Los servidores del Sistema. Debe cumplir como mínimo con lo siguiente:

La cantidad de servidores se deberá a la arquitectura y solución de cada proveedor.
Chasis montable en rack estándar 19".
Teclado y mouse/touchpad/trackball USBs, montable en rack estándar 19".
Procesador Intel Core i7-7700, 64 bits, 4.2 GHz o superior, V pro Chipset Q 270/Intel HD Graphics 530.
Dos unidades de almacenamiento redundante con al menos 2 TB de capacidad (configurado en RAID 1).
16 GB (2x8 GB) DDR4 2133 Mhz de memoria RAM.
Unidad DVD/RW Red Intel I219LM Gigabit.
Sistema Operativo Windows 10 PRO o superior.
Dos (2) monitores de 24", tipo LED, con resolución VGA/HDMI/DP (1680x1050) + 1 cable HDMI.
Dos (2) tarjetas de video 2Gb Csm Gddr3 VGA DVi, Hdmi, Pci. Exp 2.0.
Dos interfaces Gigabit Ethernet.
Deben ser ubicados en la Sala de Control.

2.6. Sincronización Automática

El SCT deberá contar con la función de sincronización automática. Se espera que el Nuevo Sistema de Control de la Turbina cuente con al menos dos programas (secuencias automáticas) que lleven a la maquina desde el estado de reposo (parada) hasta los siguientes estados:

Programa 1 – **Arranque sin sincronización:** Esta secuencia será la encargada de llevar a la unidad desde su estado de reposo, calentamiento (*warm-up*), hasta el estado de la unidad girando a velocidad nominal, con tensión pero sin estar sincronizada al sistema.

Programa 2 – **Arranque con sincronización:** Esta secuencia busca llevar a la unidad desde su estado de reposo, calentamiento (*wam-up*) hasta el estado de unidad sincronizada con la red, con carga mínima.

Se deberá proveer con el sistema un relee de chequeo de sincronización.

Se deberá proveer una opción de sincronización manual, seleccionable desde el tablero del SCT.

Se deberá contar con un sincronoscopio, perilla de selección sincronización manual o automática, perilla subir-bajar velocidad, perilla subir-bajar tensión y botón de cierre del interruptor principal.

2.7. Integración con otros sistemas

2.7.1. Válvulas de Retención y *Dump Valve*

Deberá integrarse vía cableado directo las siguientes señales, desde los contactos de fin de carrera de las seis válvulas de Retención:

- Válvula Abierta
- Válvula Cerrada

Desde los contactos de fin de carrera de la *Dump Valve*:

- Válvula Abierta
- Válvula Cerrada

2.7.2. Sistema de Control de Caldera

Deberá integrarse vía cableado directo las siguientes señales, las generadas por el Sistema de Control de Caldera y recibidas por el SCT: a) fallo del Sistema de Control de Caldera, b) disparo de Caldera. Señales generadas por el SCT y recibidas por el Sistema control de Caldera como disparo de Turbina y señal del exclusión de Turbina

2.7.3. Sistema de supervisión de vibraciones de turbina (CEMB)

Deberá integrarse vía cableado directo las siguientes señales, las generadas por el Sistema Supervisión de Turbina y recibidas por el SCT: a) alarma por altas vibraciones, b) disparo de por altas vibraciones y c) falla del Sistema de Supervisión de Turbina.

Deberán integrarse vía comunicaciones las siguientes señales: a) vibraciones Cojinete Turbina 1-N. , b) excentricidad de Turbina, c) dilatación Diferencial, d) dilatación Axial, e) dilatación Cilindro

2.7.4. Regulador de Tensión

Deberá integrarse vía cableado directo las siguientes señales:

Señales generadas por el Regulador de Tensión y recibidas por el SCT: Falla de Regulador de Tensión

Señales generadas por el SCT y recibidas por el Regulador de Tensión: Subir ajuste de Tensión, Bajar ajuste Tensión, Permisivo "Turbina al 97,5% de la velocidad nominal o 3500 RPM"

2.7.5. Bombas de aceite del sistema

La turbina cuenta con las siguientes bombas de aceite que deben integrarse al sistema SCT: Bomba de aceite de lubricación o aceite cojinetes (A.C). Bomba de aceite de lubricación o aceite cojinetes de emergencia (D.C). Bomba auxiliar de aceite (A.C).

Del contactor (arrancador) de cada bomba, deberán llevarse al SCT las siguientes señales. Disparo del contactor (arrancador). Contactor activado o bomba encendida

Del SCT deberán llevarse al contactor de cada bomba, las siguientes señales. Arranque de la bomba. Paro de la bomba

2.7.6. Virador

El virador es un dispositivo que permite que la turbina ruede a una velocidad de 3 RPM cuando la turbina está en condiciones de parada y esta no se ha enfriado, se requiere que este entre a operar cuando la velocidad de la turbina es cercana o igual a cero RPM y se desengancha automáticamente cuando supera las 50 RPM. Se dispara o no arranca cuando la presión de la bomba aceite virador es menor 0.55 kg/cm^2 del PS-203.

Se deberán integrar las siguientes señales del arrancador de la bomba de aceite del virador: Del contactor (arrancador) de la bomba deberán llevarse al SCT las siguientes señales, disparo del contactor (arrancador). Contactor activado o bomba encendida. Fin de carrera, virador "desengranado". Presión de disparo del virador (análoga).

Del SCT deberán llevarse al contactor las siguientes señales. Arranque de la bomba. Paro de la bomba

2.7.7. Integración con Sistemas Futuros

El SCT deberá contar, con al menos dos (2) puertos de comunicaciones Ethernet libres, para la integración con un futuro centro de despacho.

El sistema deberá tener disponible al menos los siguientes protocolos de comunicación: IEC 61850 (MMS Protocol Client), Modbus TCP (Master/Slave), DNP3.0 (Server/Client), IEC 60870-5-101 (Client/Server), IEC 60870-5-104 (Client/Server).

2.8. Componentes del SCT

2.8.1. Procesador Principal (CPU)

Se deben considerar controladores de última generación y que permitan una alta disponibilidad del sistema de control, con las siguientes características:

Contar con redundancia a nivel de procesadores, interfaces de comunicaciones, alimentación eléctrica, interfaz interna con entradas y salidas.

La falla de una fuente de alimentación no puede afectar ningún controlador.

Memoria de programación mínimo 256 MB.

Número de I/O mínimo 4.000.

Capacidad multitarea.

Capacidad de integrar módulos de comunicación que acepten como protocolos industriales como mínimo: Modbus, Profibus, DNP 3.0, entre otros.

Programación: escalera o texto estructurado o diagrama de bloques o secuencial.

Puertos Ethernet de comunicación redundantes. (4 puertos Ethernet)

Salida de Tag/s al servidor hasta 32.000.

Temperatura de operación 50C.

2.8.2. Módulos de IO:

Los módulos de I/O integrarán todas las señales de campo indicadas anteriormente en los procesadores del sistema de control, los módulos de IO deberán permitir el reemplazo en caliente (hot swap) de cualquier módulo de I/O, en forma práctica y segura sin parar ni interferir en el controlador o en el sistema.

Los elementos a suministrar deben ser de una alta confiabilidad con un Tiempo Medio de Falla (MTBF) superior a 350,000 horas, para asegurar la disponibilidad del sistema de control. Los módulos contarán con indicación visual en su parte frontal del estado en que se encuentran, los mismos que pueden ser averías, comunicaciones, alimentación, entradas activadas, etc. en su frente, permitiendo a simple vista observar el estado del mismo.

2.8.2.1. Módulos de señales analógicas para 4-20mA:

Canales configurables individualmente.

Aislamiento galvánico por canal

Filtros de entrada seleccionables.

Señal de 4-20mA+Hart.

Resolución mínimo 14 bits.

Entradas unipolares o diferenciales.

Escalamiento a nivel del controlador

Calibración interna.

Detección de sobre y bajo rango.

Temperatura de operación 60C.

2.8.2.2. Módulos de analógicos para RTD:

Canales configurables individualmente.

Aislamiento galvánico por canal

Debe soportar Pt10, Pt100, Pt200, Cu50, Ni120, entre otros.

Resolución mínimo 14 bits.

Escalamiento a nivel del controlador

Temperatura de operación 60C.

2.8.2.3. Módulos de analógicos para TC:

Canales configurables individualmente.

Aislamiento galvánico por canal

Resolución mínimo 14 bits.

Debe soportar termocuplas tipo B, E, J, K, R, S y T.

Escalamiento a nivel del controlador

Temperatura de operación 60C.

2.8.2.4. Módulos digitales de entrada

Aislamiento por canal.

Entradas de voltajes de 125Vdc.

Número de canales mínimo 16.

Capacidad de registro de eventos (SOE) con una precisión de 1ms.

Aislamiento mínimo de 1000 VDC.

Detección de estados de fallo, de salida a nivel de punto para diagnósticos de cortocircuito y fallo de cable.

Diagnósticos del lado del campo.
Módulos configurables.
Protección contra cortocircuito, opto aislada.
Aislamiento mínimo de 600 VDC.
Temperatura de operación 60C.

2.8.2.5. Módulos de salida de relé.

Aislamiento por canal.
Salidas contacto seco SPDT, 1A/120-240VAC o 10A/24-125VDC.
Número de canales mínimo 12.
Detección de estados de fallo, de salida a nivel de punto para diagnósticos de cortocircuito y fallo de cable.
Diagnósticos del lado del campo.
Módulos configurables.
Protección contra cortocircuito, opto aislada.
Aislamiento a 600v.
Temperatura de operación 60C.

2.8.2.6. Módulos de medición de velocidad.

Para medición de la frecuencia de la señal de salida de velocidad de los pick-up.
Aceptar salidas sinusoidales o tren de impulsos.
5ms frecuencia de actualización para la detección de exceso de velocidad.
Tasa de actualización variable para la regulación de velocidad.
Detección de la velocidad con control independiente y disparo usando dos salidas de relé de forma C.
Alimentaciones eléctricas redundantes.
1000V resistencia dieléctrica de aislamiento eléctrico entre la señal de la lógica y las entradas de campo.
Capacidad de intercambio en caliente

2.8.2.7. Módulos de manejo de válvulas.

Para el control de la actuación de servoválvulas y su realimentación de posición.
Lazo de control PI con tiempo de bucle de 10 milisegundos.
Ganancia programable de PI y constantes de tiempo integral.
Soportar bobina redundante y capacidad de LVDT redundantes (configuración redundante)
Opción de configuración redundante.
Alimentación de energía redundante de 24 V.
Calibración local y capacidad de sintonización sin potenciómetros de ajuste.
Diagnóstico de bobina Abierta y en Corto.

Nota:

La cantidad de módulos de IO requeridos será indicada por cada proveedor dependiendo de la solución propia de cada proveedor.

2.8.3. Equipos de Comunicaciones:

La interfaz de comunicación entre los controladores en cada panel o gabinete y el sistema de control deberá ser redundante permitiendo una alta disponibilidad en caso de ocurrir alguna falla en alguno de los puertos o cables de red; queda a criterio de la solución de cada oferente la necesidad de incluir switches locales en el panel o no y en caso de incluirlos switches locales los mismos deberán ser administrables y con un 20% de puertos libres. El contratista deberá de considerar la cantidad de convertidores de media necesarios para su solución, considerando que el cableado de red será en Fibra Óptica Multimodo cuando se realice el cableado fuera de la sala de control; y el cableado de control en el interior de la sala de control y sala de gabinetes será en cable UTP categoría 5 o superior.

2.8.4. Gabinetes o Paneles de Control:

Gabinetes o Paneles Existentes: Se debe considerar por parte del contratista la deshabilitación, adaptación y el desmontaje de los gabinetes existentes según aplique, incluyendo todo el equipo de control en su interior.

Gabinetes o Paneles Nuevos: Los gabinetes de control que contendrán los controladores, fuentes de alimentación y módulos de IO deberán ser completamente nuevos. Los gabinetes deberán venir completamente probados por parte del proveedor y aceptados por parte de la contratante durante la realización de las pruebas de fábrica (FAT).

Los nuevos gabinetes deberán contar con las siguientes características mínimas:

- Deben ser autosoportados.
- Contar con zócalo en la parte inferior de mínimo 100mm de altura
- Deben ser gabinetes de doble acceso con puerta frontal y posterior.
- Protección Nema 12 o equivalente.
- Enfriamiento mediante ventilación forzada, se debe incluir filtro.
- Debe incluir Iluminación.
- Debe contar con identificación al frente del gabinete.
- Dimensiones de acuerdo con el diseño, dimensiones mínimas requeridas: 2000x600x600mm (alto x ancho x fondo).

Gabinetes o Paneles de Servidores & Red: Para la instalación de los servidores y del equipo de red para el sistema de control se debe considerar un gabinete o panel adecuado para la instalación de los servidores y el equipo de red.

2.8.5. Fuentes de Poder

Los controladores deberán estar equipados con fuentes redundantes de alimentación necesarias para alimentar todos los componentes que lo constituyen con la capacidad suficiente para suministrar la potencia requerida por el controlador.

Las fuentes de los controladores serán alimentados a 120 VDC desde los bancos de batería existentes en la central. Sin embargo, las fuentes deben tener capacidad para aceptar tensión de entrada de 85V a 240V AC o DC.

Las fuentes de alimentación deberán poseer aislamiento galvánico entre las tensiones de entrada y de salida, tener medios de filtrado y elementos y/o circuitos de protección por sobrecarga, cortocircuito y sobre/baja tensión para prevenir daños en el equipo.

La falla de una fuente no puede afectar ninguno de los controladores.

2.8.6. Sincronización de tiempo

Todos los controladores deberán tener medios para la sincronización, a través del protocolo NTP, o a través de la red de control si cumple con la resolución +- 5 ms respecto al UCT, de manera que todos los eventos o cambios de estado puedan ser reportados al sistema de control con la resolución especificada.

Deberá proveerse un GPS, con protocolo NTP para la sincronización de tiempo del SCT.

2.8.7. Instrumentación

No deberá ser reemplazada la instrumentación actual (con excepción a la asociada al esquema de protecciones y sistema CEMB), esta deberá llevarse al SCT.

2.8.8. Sistema de Autodiagnóstico de Fallas

El sistema incluirá equipos y/o programas rutinarios de autodiagnóstico para detectar fallas en el sistema o en la programación, y presentar de manera clara e inmediata el elemento y tipo de falla, su localización y una guía para reparar o identificar el daño.

Debe así mismo, detectar y alarmar por fallas en el equipo de medición y control en campo, como la pérdida de continuidad en los conductores de señales de entrada/salida, señales analógicas fuera de rango, falla en bobinas de reles o solenoides, etc.

Deberá incluir instrucciones adicionales que faciliten el mantenimiento en el menor tiempo posible. Se presentarán alarmas en las estaciones de operación de la consola de control y el detalle del problema a través de la estación de ingeniería.

La operación del sistema de autodiagnóstico no debe provocar saturación de los buses y puertos de comunicación.

Los ajustes, la reconfiguración y el cambio de tarjetas electrónicas podrán efectuarse con el equipo en operación, sin que se generen disturbios en el sistema de control.

2.9. Aplicaciones del Sistema de Control.

El sistema de control propuesto debe considerar un conjunto completo de licencias para los softwares de las aplicaciones requeridas para la presente modernización del sistema de control, a continuación, se detallan las aplicaciones requeridas:

2.9.1. Aplicación de visualización.

El software de visualización debe tener la capacidad para visualizar datos almacenados, en tiempo real de cualquier fuente conectada al sistema, variables de proceso, alarmas, cambios del operador como puntos de ajuste y salidas a elementos finales de control, así como mostrar los diagnósticos fallas de equipos y accesorios del Sistema digital de monitoreo y control. Debe tener una interfaz de visualización y administración de alarmas a través de todo el sistema de control. Debe manejar dos tipos de fuentes de alarmas: Basada en dispositivo y basadas en Tags o etiquetas.

2.9.2. Aplicación de configuración de pantallas e integración de módulos.

El programa del Sistema de Control Distribuido (DCS) debe ser abierto y permitir el manejo de los módulos de software asociados a las aplicaciones como: diseño, creación de gráficos de control, simulación de pantallas (HMI) para el manejo de elementos finales de la planta y supervisión de variables del proceso de generación térmica, elaboración de las lógicas de control, supervisión de modificaciones nivel de seguridad para el acceso a la programación, operación, reportes de alarmas, eventos, manejo de históricos, creación tendencias, bases de datos, herramientas de diagnóstico del sistema, visualización de los módulos del hardware, herramientas de instalación de software.

Todo el diseño se localizará en un solo entorno, de configuración remota de servidores y configuración de comunicaciones. El software tiene todas las herramientas y librerías para la elaboración de pantallas, supervisión y control de procesos, parametrización de face plate, visualización de variables, control de variables y animaciones de equipos.

El software de visualización permitirá desarrollar un entorno de operación amigable con el operador y con el personal de mantenimiento de la Central. Además, contará con la capacidad de hacer upgrades totalmente en línea con controladores redundantes. La configuración de la aplicación en el sistema, para el registro de eventos, registrará en memoria, en forma secuencial de aparición, el evento con la fecha, hora, minutos, segundos, fracción de segundos de todos los eventos provenientes de los sistemas. Este debe permitir luego el despliegue en la aplicación para confirmar eventos anteriores y realizar los análisis de fallas, estos valores deberán permanecer en memoria de forma ilimitada (limitado solamente por la capacidad del disco duro) para impresiones y reportes.

El software considerado proporcionará una herramienta de configuración que permite la creación de aplicaciones en un ambiente de diseño, el mismo cuenta con bibliotecas de objetos de proceso, permitiendo el desarrollo de todas las gráficas y reportes bajo los estándares del sistema.

2.9.3. Software configuración de la aplicación.

El software para configuración permitirá la programación en los siguientes lenguajes: escalera, bloques funcionales, secuencial y texto estructurado y es abierto de fácil acceso a la edición para diseño y modificaciones. Permitirá las modificaciones en línea y fuera de línea sin provocar descarga total del programa, así como la reproducción de respaldos y copias.

Permitirá la identificación fácil de errores de programación indicando la ubicación del error. La programación y configuración realizada debe incluir:

- Configuración de variables de proceso.
- Construcción de desplegados gráficos.
- Configuración de desplegados gráficos de tendencias históricas y de tiempo real.
- Construcción de balances y reportes.
- Elaboración de la lógica de control y configuración de programas de usuario.
- Configuración de base de datos.

Los lenguajes de programación y configuración que puede soportar son:

Bloques de función.

Escalera.

Texto estructurado.

Texto estructurado ó diagrama de función secuencial, (SFC).

Adicionalmente se podrá realizar la mezcla de los lenguajes de programación de acuerdo a los requerimientos de la aplicación, reutilizar lógicas, rutinas, programas y tareas en un proyecto y la creación de librerías o funciones reutilizables personales en cualquier lenguaje.

2.9.4. Software de manejo de históricos.

El software de manejo de históricos cuenta con las siguientes funciones:

Capacidad de recopilar datos históricos existentes en una base de datos de alto desempeño para el acceso a la información en cualquier momento a través de diferentes niveles de la CTT.

Escalable, con capacidad inicial para este proyecto de más de 10.000 puntos de licencia.

Licencia para múltiples usuarios o clientes.

Elaboración de pantallas de visualización y búsqueda de variables y eventos.

Registro de datos y valores en una base de datos con respecto al tiempo.

Capacidad de historiar hasta 10.000 tags.

2.9.5. Software de Reportes

El software de reportes debe contar con las siguientes funciones:

Creación de reportes con los valores de las variables de proceso, cálculos, alarmas e indicadores.

Reportes de dispositivos y equipos.

Permite usar formatos pre-configurados y configurables a los requerimientos del usuario.

Permite integrar en forma sencilla tablas de datos y gráficos.

Permite el uso de un editor de textos y hojas de cálculo para el desarrollo de reportes.

Permite el acceso a cualquier variable contenida en la base de datos del Sistema Digital de Monitoreo y Control para la generación de reportes.

2.9.6. Software de configuración de comunicaciones

El software de configuración de comunicaciones cuenta con las siguientes funciones:

Permitir la configuración de las redes de supervisión para la comunicación entre las pantallas HMI y los procesadores.

Permitir la configuración de las redes de control para la comunicación entre los procesadores y los dispositivos de campo.

Permitir la interconexión, comunicación, escalabilidad, basado en tecnologías abiertas en todos sus niveles que permitan interoperabilidad con equipos de otros fabricantes y bajo diferentes protocolos de comunicación y un elevado grado de estandarización.

2.9.7. Software sistema operativo, antivirus y seguridad.

El ambiente de trabajo considerado debe ser Windows, una red de control de alta disponibilidad basado en una red de planta como la Ethernet de 100Mbps o similar. Se debe incluir un antivirus para la seguridad contra ataques cibernéticos, evitar accesos no autorizados, para proteger los discos duros.

2.10. Mantenibilidad

El SCT deberá disponer de facilidades que permitan un mantenimiento fácil y adecuado por el personal entrenado para esta función. En general el sistema debe disponer de las siguientes facilidades para permitir un mantenimiento ágil:

- Equipos modulares con elementos instalables en caliente.
- Módulos con indicación de funcionamiento correcto o de falla.
- Equipos con software de auto chequeo y auto diagnóstico.
- Documentación precisa de los equipos, módulos y procedimientos de prueba.
- Entrenamiento adecuado del personal de mantenimiento.
- Equipos para prueba y diagnóstico en campo.

Repuestos

El oferente deberá incluir como parte de la oferta todos los repuestos necesarios para la implementación y operación del sistema por un (1) año. Adicionalmente se deberá ofertar de manera opcional, un conjunto de repuestos recomendados, para la operación del sistema los próximos 3 años, posteriores a la finalización del periodo de garantía.

Conclusiones

El sistema de control es el elemento principal en las turbinas de vapor, pues nos permite operar la misma de manera eficiente y segura. Una condición insegura de operación puede poner en riesgo la generación y presentar pérdidas millonarias, además de ser un peligro para los obreros. En el presente artículo se propone una metodología y dimensionamiento de equipos y sistemas como lo son la conexión al DCS, el SCT, protecciones, disparos y bloqueos, por lo que se aborda de manera completa el funcionamiento de la turbina como tal

REFERENCIAS

- [1] Abbas Fotouhi, Rubiyah Yusof, Rasoul Rahmani, Saad Mekhilef, and Neda Shateri. A review on the applications of driving data and traffic information for vehicles energy conservation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37(Supplement C):822 – 833, 2014.
- [2] Apurba Sakti, Jeremy J. Michalek, Erica R.H. Fuchs, and Jay F. Whitacre. A techno-economic analysis and optimization of li-ion batteries for light-duty passenger vehicle electrification. *Journal of Power Sources*, 273(Supplement C): 966 – 980, 2015.
- [3] Apurba Sakti, Jeremy J. Michalek, Erica R.H. Fuchs, and Jay F. Whitacre. A techno-economic analysis and optimization of li-ion batteries for light-duty passenger vehicle electrification. *Journal of Power Sources*, 273(Supplement C):966 – 980, 2015.
- [4] G. Nielson and A. Emadi. Hybrid energy storage systems for high-performance hybrid electric vehicles. In 2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pages 1–6, Sept 2011.
- [5] Hanane Hemi, Jamel Ghouili, and Ahmed Cheriti. A real time fuzzy logic power management strategy for a fuel cell vehicle. *Energy Conversion and Management*, 80(Supplement C):63 – 70, 2014. 1056 Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies | Vol. 3 | n. 1 | Jan-Mar | 2022 | e-ISSN: 2675-9780 Recebido: Aceito: Disponível: <https://doi.org/10.51798/sjisi.v3i1.282> Recebido: 05/01/2021 Aceito: 11/12/2021 Disponível: 15/02/2022
- [6] Hanane Hemi, Jamel Ghouili, and Ahmed Cheriti. Combination of markov chain and optimal control solved by pontryagin’s minimum principle for a fuel cell/supercapacitor vehicle. *Energy Conversion and Management*, 91(Supplement C): 387 – 393, 2015.
- [7] Himanshu Khurana, Mark Hadley, Ning Lu, and Deborah A Frincke. Smart-grid security issues. *IEEE Security & Privacy*, 8(1), 2010.
- [8] Hoke, A. Brissette, K. Smith, A. Pratt, and D. Maksimovic. Accounting for lithium-ion battery degradation in electric vehicle charging optimization. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 2(3):691– 700, Sept 2014. [8] J. Shen, S. Dusmez, and A. Khaligh. Optimization of sizing and battery cycle life in battery/ultracapacitor hybrid energy storage systems for electric vehicle applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4):2112–2121, Nov 2014.
- [9] Lijun Gao, R. A. Dougal, and Shengyi Liu. Power enhancement of an actively controlled battery/ultracapacitor hybrid. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 20(1):236–243, Jan 2005.
- [10] M Devineni, A Dinger, M Gerrits, T Mezger, X Mosquet, M Russo, G Sticher, and H Zablit. Powering autos to 2020: the era of the electric car. Boston Consulting Group, 2011.
- [11] M. E. Choi, J. S. Lee, and S. W. Seo. Real-time optimization for power management systems of a battery/supercapacitor hybrid energy storage system in electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(8):3600–3611, Oct 2014.
- [12] M.A. Hannan, F.A. Azidin, and A. Mohamed. Hybrid electric vehicles and their challenges: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29(Supplement C):135 – 150, 2014.
- [13] M.A. Hannan, M.M. Hoque, A. Mohamed, and A. Ayob. Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(Supplement C):771 – 789, 2017.
- [14] M.Y. Ayad, M. Becherif, and A. Henni. Vehicle hybridization with fuel cell, supercapacitors and batteries by sliding mode control. *Renewable Energy*, 36(10):2627 – 2634, 2011. *Renewable Energy: Generation & Application*.
- [15] Martin Redelbach, Enver Doruk Ozdemir, and Horst E. Friedrich. Optimizing battery sizes of plug-in hybrid and extended range electric vehicles for different user types. *Energy Policy*, 73(Supplement C):158 – 168, 2014.
- [16] P. Rodatz, G. Paganelli, A. Sciarretta, and L. Guzzella. Optimal power management of an experimental fuel cell/supercapacitor-powered hybrid vehicle. *Control Engineering Practice*, 13(1):41 – 53, 2005.
- [17] P. Thounthong, V. Chunkag, P. Sethakul, B. Davat, and M. Hinaje. Comparative study of fuel-cell vehicle hybridization with battery or supercapacitor storage device. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 58(8):3892– 3904, Oct 2009.
- [18] Q. Xiaodong, W. Qingnian, and Y. YuanBin. Power demand analysis and performance estimation for activecombination energy storage system used in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(7):3128–3136, Sept 2014.
- [19] Richard G Newell and Stuart Iler. The global energy outlook. Technical report, National Bureau of Economic Research, 2013. Sciarretta and L. Guzzella. Control of hybrid electric vehicles. *IEEE Control Systems*, 27(2):60–70, April 2007.
- [20] Shunping JIA, Hongqin PENG, Shuang LIU, and Xiaojie ZHANG. Review of transportation and energy consumption related research. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 9(3):6 – 16, 2009.
- [21] T.M.I. Mahlia, R. Saidur, L.A. Memon, N.W.M. Zulkifli, and H.H. Masjuki. A review on fuel economy standard for motor vehicles with the implementation possibilities in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9):3092–3099, Dec 2010.
- [22] Tedjani Mesbahi, Fouad Khenfri, Nassim Rizoug, Khaled Chaaban, Patrick Bartholome us, and Philippe Le Moigne. Dynamical modeling of li-ion batteries for electric vehicle applications based on hybrid particle swarm– nelder–mead (pso–nm) optimization algorithm. *Electric Power Systems Research*, 131(Supplement C):195 – 204, 2016.