

**ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS  
INDUSTRIALES**

**PLAN DE EJECUCION DEL PROYECTO PARA LA MODERNIZACIÓN DEL  
SISTEMA DE CONTROL, DE LA TURBINA 3, DE LA CENTRAL TERMICA  
CARTAGENA**

**ORLANDO IVAN ARRIETA LOPEZ  
EDGAR EMILIO MARTINEZ MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR  
CARTAGENA DISTRITO TURÍSTICO Y CULTURAL  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
AGOSTO  
2013**

**ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS  
INDUSTRIALES**

**PLAN DE EJECUCION DEL PROYECTO PARA LA MODERNIZACIÓN DEL  
SISTEMA DE CONTROL, DE LA TURBINA 3, DE LA CENTRAL TERMICA  
CARTAGENA**

**ORLANDO IVAN ARRIETA LOPEZ  
EDGAR EMILIO MARTINEZ MARTINEZ**

**DIRECTORES:**

**JOSE LUIS VILLA  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**JORGE ELIECER DUQUE PARDO  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR  
CARTAGENA DISTRITO TURÍSTICO Y CULTURAL  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
AGOSTO  
2013**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

Cartagena de Indias

\_\_/\_\_/\_\_\_\_

*Agradezco a mis padres, **Edgar Emilio Martínez Anillo** y **Blanca Martínez Ramirez**, quienes con su esfuerzo y apoyo me brindaron la guía y herramientas para iniciar la formación académica que me ha conducido a alcanzar las metas del hoy y los sueños del mañana.*

**EDGAR MARTINEZ MARTINEZ**

*Gracias **DIOS** mío por todo lo que haces por mí, y en especial por la cantidad de bendiciones que me enviaste a la hora de realizar este documento.*

*Gracias a **Orlando Arrieta Herrera** y a **Elizabeth López Rivas**, mis padres, por darme la vida, motivarme a salir adelante y por su ayuda incondicional.*

*Gracias a **Elizabeth Arrieta López**, mi hermana, su entusiasmo me lleno en los días que ya no podía más, revitalizaba mis fuerzas y mis ganas de triunfar.*

*Gracias a mi compañero desarrollador de este documento, es cierto, hicimos un documento bastante completo.*

*Gracias a todos mis familiares, amigos, compañeros de especialidad y otras personas, que de una u otra forma me sirvieron de apoyo a lo largo de esta especialización y de la realización de este documento.*

*Por último, me doy gracias a mismo y felicito por las metas alcanzadas con esta especialización y este documento.*

**ORLANDO IVÁN ARRIETA LOPEZ**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	1
<b>1. RECOPIACION DE REQUISITOS.....</b>	<b>2</b>
1.1. IDENTIFICACION DE LOS INTERESADOS.....	2
<b>2. GESTION DEL ALCANCE.....</b>	<b>5</b>
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE GENERACIÓN.....	5
2.2. DESCRIPCIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LA TURBINA Y SISTEMAS ANEXOS.....	9
<b>2.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TURBINA.....</b>	<b>9</b>
➤ Descripción general de funcionamiento de la turbina.....	10
➤ Carcasa de la turbina.....	10
➤ Sujeción, alineación y guía de la carcasa.....	11
➤ Rodete y cojinetes.....	11
➤ Conjunto de álabes.....	12
➤ Obturaciones(sellos) del eje.....	12
➤ Regulación.....	12
➤ Vigilancia de la turbina.....	12
➤ Abastecimiento de aceite.....	13
<b>2.2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA.....</b>	<b>13</b>
➤ VÁLVULAS PRINCIPALES DE TURBINA.....	13
2.2.2.1. Válvulas de cierre rápido.....	14
2.2.2.2. Válvulas reguladoras.....	14
2.2.2.3. Válvula combinada de cierre rápido y regulación.....	15
2.2.2.4. Regulación de desvío o sobreproducción.....	16
2.2.2.5. Válvula de desvío.....	16
2.2.2.6. Válvula de desvío de cierre rápido.....	16
2.2.2.7. Válvula reguladora de desvío.....	16
➤ SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE TURBINA.....	17
2.2.2.1. Funcionamiento del sistema de control de velocidad.....	17
2.2.2.2. Descripción del sistema de medición de velocidad.....	19
2.2.2.3. Funcionamiento del sistema de medición de velocidad.....	20
2.2.2.4. Indicación de velocidad.....	21
➤ DISPOSITIVO HIDRÁULICO DE ALIVIO DE COJINETES.....	21
2.2.2.1. Objeto.....	21
2.2.2.2. Funcionamiento.....	22
2.2.2.3. Valores límite de velocidad.....	22
2.2.2.4. Bomba de aceite de alivio y abastecimiento de aceite.....	22
2.2.2.5. Presión del aceite de alivio en las tuberías de aceite.....	23
2.2.2.6. Disposición de los accesorios.....	23
➤ DISPOSITIVO HIDRÁULICO DE GIRO DEL EJE (GIRO LENTO).....	23
2.2.2.1. Misión.....	23
2.2.2.2. Funcionamiento.....	23
2.2.2.3. Elevación de los ejes.....	24

2.2.2..4.	Velocidad de rotación.....	24
2.2.2..5.	Circulación de aceite a presión.....	24
➤	DISPOSITIVO DE GIRO MANUAL.....	25
2.2.2..1.	Objeto.....	25
2.2.2..2.	Constitución.....	25
2.2.2..3.	Accionamiento.....	25
➤	CONTROL DE CARGA.....	26
➤	REGULACION EN FRECUENCIA.....	26
➤	COMPROBACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE CIERRE RÁPIDO.....	26
2.2.2..1.	Objeto.....	26
2.2.2..2.	Funcionamiento.....	26
➤	DIAGNÓSTICO DE LAS PROTECCIONES Y PERMISIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE TURBINA.....	27
2.2.2..1.	Dispositivo de cierre rápido.....	27
2.2.2..2.	Disparo manual.....	28
2.2.2..3.	Disparo por sobre velocidad de turbina.....	28
2.2.2..4.	Disparo del dispositivo de vigilancia de la posición del eje.....	29
2.2.2..5.	Disparo eléctrico a distancia.....	29
2.2.2..6.	Disparo por bajo vacío en el condensador.....	29
2.2.2..7.	Permisivos.....	31
➤	SISTEMA DE MONITOREO.....	31
➤	SISTEMA DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES Y TEMPERATURAS.....	32
➤	DESCRIPCIÓN DE LOS INCONVENIENTES ACTUALES.....	32
<b>3.</b>	<b>ALCANCE.....</b>	<b>34</b>
3.1.	ALCANCE GENERAL.....	34
3.2.	ALCANCE ESPECIFICO.....	37
<b>3.2.1.</b>	<b>SISTEMA DE CONTROL DE TURBINA.....</b>	<b>37</b>
➤	Sistema de regulación de velocidad.....	37
<b>3.2.2.</b>	<b>REGULACIÓN EN FRECUENCIA.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA EHC.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.4.</b>	<b>ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.5.</b>	<b>SISTEMA HIDRÁULICO Y MANUAL DE GIRO DEL EJE.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.6.</b>	<b>SISTEMA DE PROTECCIÓN POR SOBREVELOCIDAD.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.7.</b>	<b>MONITOREO Y PROTECCIÓN POR VIBRACIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.8.</b>	<b>REGISTRADOR SECUENCIAL DE EVENTOS (SOE).....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.9.</b>	<b>ESPECIFICACIONES DE LA INTERFAZ HOMBRE MAQUINA.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.10.</b>	<b>ALARMAS.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.11.</b>	<b>SOPORTE DE LARGO PLAZO.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.12.</b>	<b>MANTENIMIENTO.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.13.</b>	<b>DOCUMENTACIÓN.....</b>	<b>51</b>
<b>4.</b>	<b>GESTION DEL TIEMPO.....</b>	<b>55</b>
<b>5.</b>	<b>GESTIÓN DE LOS COSTOS.....</b>	<b>57</b>
5.1.	Estimación de los costos de implementación.....	57
<b>5.1.1.</b>	<b>Trabajos de Ingeniería y documentación.....</b>	<b>57</b>

<b>5.1.2.</b>	Suministro de Hardware.....	57
<b>5.1.3.</b>	Suministro de software.....	58
<b>5.1.4.</b>	Instalación y configuraciones.....	58
<b>5.1.5.</b>	Capacitación y documentación.....	58
<b>5.2.</b>	Costo de operación y mantenimiento.....	59
<b>5.3.</b>	Estimación del costo del tiempo de paro del equipo durante la intervención...59	
<b>5.4.</b>	Estimación de los beneficios esperados.....	59
<b>5.5.</b>	Distribución de los costos y beneficios.....	60
<b>5.6.</b>	Análisis de factibilidad del proyecto.....	61
<b>6.</b>	GESTION DE LA CALIDAD.....	62
<b>7.</b>	GESTIÓN DE LOS RIESGOS.....	63
<b>8.</b>	GESTION DE LAS ADQUISICIONES.....	64
<b>9.</b>	GESTION DEL RECURSO HUMANO .....	65
9.1.	Perfiles del personal contratista .....	66
9.2.	Matriz de Roles y responsabilidades.....	67
<b>10.</b>	GESTION DE LAS COMUNICACIONES.....	68
	CUMPLIMIENTO DE NORMATIVIDAD.....	69

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de requerimientos para la gestión de los interesados. ....	2
Tabla 2. Tiempo de duración del proyecto total y por etapas.....	57
Tabla 3. Estimación anual, por periodo de 10 años, de costos y beneficios asociados al proyecto .....	62
Tabla 4. Matriz de riesgos del proyecto. ....	65
Tabla 5. Matriz de roles y responsabilidades para el proyecto .....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procedimientos de generacion de energia en una termo electrica. ....	6
Figura 2. Energías empleadas en un proceso de generación eléctrica de una termo eléctrica.....	8
Figura 3. Descripción del sistema turbina y sus subsistemas. ....	9
Figura 4. Válvula izquierda de cierre.....	14
Figura 5. Válvula reguladora No 3. ....	15
Figura 6. Válvula combinada de cierre rápido y regulación.....	15
Figura 7. Sistema de ajuste de velocidad SE10C002. ....	17
Figura 8. Esquema del sistema de medición de velocidad. ....	19
Figura 9. Imagen del módulo Wavemuller Was6 TTA.....	20
Figura 10. Indicadores de velocidad de turbina. A la izquierda indicador local en pedestal de turbina. Al lado derecho Indicación en sala de control. ....	21
Figura 11. Esquema y vistas físicas del sistema de aceite de alivio. ....	22
Figura 12. Representación del dispositivo hidráulico de giro del eje.....	24
Figura 13. Corredera SC14S001, para prueba de funcionamiento de las válvulas de cierre rápido. ....	26
Figura 14. Dispositivo de Cierre rápido SC14 K001.....	27
Figura 15. Guarda revoluciones SB11K001 y SB11K002.....	28
Figura 16. Presostato para detección de bajo vació en el condensador.....	30
Figura 17. Estructura desagregada de trabajo (EDT) del proyecto.....	35
Figura 18. Esquema del sistema de control y protección de turbina a suministrar e instalar. ....	36
Figura 19. Diagrama simplificado sistema de protección por sobrevelocidad de turbina.....	45
Figura 20. Monitor Bently Nevada 3500.....	46
Figura 21. Cronograma del proyecto de automatización. ....	56
Figura 22. Gráfico de distribución de costos y beneficios ....	62
Figura 23. Organigrama del recurso humano requerido. En azul el personal de Emgesa y en naranja el personal contratista. ....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS ESPECIALES

<b>ASME</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
<b>ANSI</b>	Instituto Nacional Americano de Estándares
<b>AP</b>	Alta Presión
<b>DCS</b>	Sistema de Control Distribuido
<b>EHC</b>	Control Electrohidráulico
<b>HAZOP</b>	Estudio de Riesgos y Factibilidad de Operación
<b>HMI</b>	Interface Hombre Maquina
<b>IEC</b>	Comisión electrotécnica Internacional
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
<b>ISA</b>	Sociedad Internacional de Automatización
<b>PI</b>	Presión Intermedia
<b>ROI</b>	Retorno a la Inversión
<b>RPF</b>	Regulación Primaria de Frecuencia
<b>RSF</b>	Regulación Secundaria de Frecuencia
<b>RTF</b>	Regulación Terciaria de Frecuencia
<b>SCADA</b>	Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos
<b>SIS</b>	Sistema Instrumentado de Seguridad
<b>SIL</b>	Nivel Integrado de Seguridad
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno
<b>VPN</b>	Valor Presente Neto

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A** – ESTRATEGIA DE CONTROL DE CARGA.

**ANEXO B** – LISTADO DE I/O

**ANEXO C** – CRONOGRAMA DEL PROYECTO

**ANEXO D** – MANUAL DE OPERACIÓN DE LA TURBINA.

**ANEXO E** – PLANO SISTEMA DE ACEITE DE LUBRICACIÓN.

**ANEXO F** – PLANO VISTA REGULADOR DE VELOCIDAD.

**ANEXO G** – PLANO SISTEMA HIDRAULICO DE CONTROL.

**ANEXO H** – DICCIONARIO DE LA EDT

## GLOSARIO

**ALABE:** es la paleta curva de una turbomáquina, forma parte del rodete. Los álabes desvían el flujo de corriente, bien para la transformación entre energía cinética y energía de presión por el principio de Bernoulli, o bien para intercambiar cantidad de movimiento del fluido con un momento de fuerza en el eje. El rodete transforma parte de la entalpía del fluido en energía mecánica en el eje.

**AXIAL:** Del eje o relativo a él.

**BANDA MUERTA DE OPERACIÓN:** Rango de frecuencia, dentro del cual las unidades de generación no varían automáticamente su potencia. No se hace corrección de la potencia generada, es decir, las variaciones de potencia en ese rango no activan la regulación primaria de los generadores. Para Colombia esa banda muerta es de  $\pm 0.03$  Hz.

### **CHAPALETAS DE RETENCIÓN:**

**CHAVETA:** a una pieza de sección rectangular o cuadrada que se inserta entre dos elementos que deben ser solidarios entre sí para evitar que se produzcan deslizamientos de una pieza sobre la otra. La chaveta tiene que estar muy bien ajustada y carecer de juego que pudiese desgastarla o romperla por cizallamiento.

**COJINETE:** es la pieza o conjunto de ellas sobre las que se soporta y gira el árbol transmisor de momento giratorio de una máquina.

### **CONTROL ELECTROHIDRÁULICO:**

**ESTATISMO:** Característica técnica de una planta y/o unidad de generación, que determina la variación porcentual de la frecuencia por cada unidad de variación porcentual de la carga. Es la relación entre la variación de frecuencia y la potencia corregida en la unidad de generación. Entre mayor sea la desviación de frecuencia, mayor debe ser la potencia corregida en la unidad de generación.

**EXCITATRIZ:** es un generador de corriente, que produce la intensidad de corriente necesaria para alimentar la excitación en el rotor de un alternador.

**INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL:** es el grupo de elementos que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste.

**RADIAL:** que tiene sus diversas partes dispuestas alrededor de un punto o de un eje como los radios de una circunferencia.

**RODETE:** Consiste en un disco perpendicular al eje de giro, compuesto por álabes curvados en dirección contraria al movimiento. Según los esfuerzos que deba soportar y la agresividad del medio que deba impulsar, el rodete puede estar hecho de aleación metálica, como por ejemplo acero o aluminio.

**REGULACIÓN PRIMARIA DE FRECUENCIA:** Servicio en línea que corresponde a la variación automática, mediante el gobernador de velocidad, de la potencia entregada por la unidad de generación como respuesta a cambios de frecuencia en el sistema. Los tiempos característicos de respuesta están entre 0 y 10 segundos. La variación de carga del generador debe ser sostenible al menos durante los siguientes 30 segundos.

**REGULACIÓN SECUNDARIA DE FRECUENCIA:** Servicio manual o automático que debe mantener o restaurar la frecuencia del sistema a su valor nominal, el equilibrio generación/carga dentro de un área de control; y los intercambios de potencia programados con las áreas de control vecinas. Este control se lleva a cabo mediante la modificación de las consignas de potencia activa de unidades asignadas a Control Secundario, pertenecientes al área de control en que se produce el desequilibrio.

**REGULACIÓN TERCIARIA DE FRECUENCIA:** se define como cualquier cambio automático o manual en el punto de operación de generadores o cargas participantes, con el fin de: garantizar la provisión de una adecuada reserva para control secundario y distribuir la potencia para Control Secundario entre varias unidades en la mejor manera posible, en términos de consideraciones económicas”.

**SISTEMA DE CONTROL:** un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados.

**SINCRONOSCOPIO:** Instrumento destinado a indicar cuando dos tensiones alternas o dos sistemas de tensiones polifásicas alternas tienen la misma frecuencia y están en fase.

**TOBERAS:** es un dispositivo que convierte la energía térmica y de presión de un fluido (conocida como entalpía) en energía cinética. El fluido sufre un aumento de velocidad a medida que la sección de la tobera va disminuyendo, por lo que sufre también una disminución de presión y temperatura al conservarse la energía.

**TRINQUETE:** es un mecanismo que permite a un engranaje girar hacia un lado, pero le impide hacerlo en sentido contrario, ya que lo traba con dientes en forma de sierra. Permite que los mecanismos no se rompan al girar al revés.

**TURBINA:** es el nombre genérico que se da a la mayoría de las turbomáquinas motoras. Éstas son máquinas a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y éste le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes.

Es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua, vapor de agua o gas. El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice

**TURBOGRUPO:** hace referencia a los componentes del sistema de generación, turbina, generador y excitatriz

**VALVULA CIERRE RÁPIDO:** dispositivo de corte del paso del fluido en un sentido; puede ser actuada de manera manual, eléctrica o mecánica.

**VALVULA REGULADORA:** dispositivo que puede ser ajustado a través de un actuador (mecánico, eléctrico, u electrónico) para controlar la cantidad de flujo que permite pasar por el mismo.

## INTRODUCCIÓN

Bajo la creciente demanda de generación eléctrica en el país se hace necesario para una central termoeléctrica mantener su disponibilidad de operación, la cual deberá realizar de forma eficiente y segura. Entendiendo que la turbina número 3 de la central termoeléctrica Cartagena, propiedad de la empresa Emgesa S.A. E.S.P., posee tecnología empleada hace cuatro décadas atrás, el riesgo de tener paradas no programadas se incrementa poniendo en riesgo la disponibilidad de la planta. Lo anterior se puede producir por fallas en el sistema de control, por equipos en obsolescencia, entre otras.

Teniendo en cuenta las circunstancias descritas anteriormente, se genera la necesidad de realizar una modernización de los sistemas de control de la unidad. Este documento centrará su objeto de estudio, en la planificación de las actualizaciones requeridas por el sistema de control de la turbina a vapor y sus subsistemas. por lo cual el mismo se ha estructurado de una manera que: primero familiarice a las personas con el funcionamiento de una generadora termo eléctrica, seguidamente una descripción que permita conocer la situación actual en la cual se encuentran los componentes y sistemas a tratar, más adelante en la sección denominada alcance, se muestran las especificaciones mínimas solicitadas por los elaboradores de este documento para realizar la actualización sobre el turbogruppo, para finalizar se muestran algunas de las normativas, estándares y/o recomendaciones que deberán seguir las personas que vayan ejecutando cada una de las etapas de este proyecto de modernización.

Asumiendo la posición de gerentes de este proyecto, los desarrolladores de este documento realizaron un análisis económico, donde se manifiesta un cronograma de actividades generales a realizar, la inversión que será asumida por la empresa y los costos y beneficios que se obtendrá de todo este proceso.

Se espera que este documento sirva de base para futuras modernizaciones o para la elaboración de documentos similares y/o que ayude a estudiantes a ampliar sus conocimientos en todas las áreas que abarca este documento.

# 1. RECOPIACION DE REQUISITOS

## 1.1. IDENTIFICACION DE LOS INTERESADOS

Previo a la planificación de la ejecución del proyecto, se deberá recopilar y documentar las necesidades de los interesados a fin de cumplir con los objetivos del proyecto. A continuación, se listarán los interesados identificados hasta esta fase del ciclo de vida del proyecto

- ✓ Accionistas de la compañía
- ✓ Gerencia de la central
- ✓ Personal operativo
- ✓ Personal de mantenimiento
- ✓ Profesional de prevención de riesgos y medio ambiente
- ✓ Comunidades vecinas

Tras la identificación, como se observa en la tabla 1, se procederá a elaborar una matriz con la afectación que produce el proyecto a cada uno de ellos y la forma en que se realizará un seguimiento trazable de la gestión de cada interesado.

**Tabla 1. Matriz de requerimientos para la gestión de los interesados.**

INTERESADO	AFECCION	HERRAMIENTA TRAZABILIDAD
<b>Accionistas de la compañía</b>	La ejecución del proyecto puede impactar a este interesado positiva o negativamente desde el punto de vista económico.	El análisis de factibilidad indicará si el proyecto podrá satisfacer las necesidades de este interesado.  De ser un negocio rentable, la correcta gestión de los costos del proyecto asegurará el cubrimiento de los objetivos de este interesado.
<b>Gerencia de la central</b>	Como cabeza visible de la central Cartagena, la gerencia requerirá demostrar ante los accionistas, la correcta	La correcta gestión de los costos, tiempo, alcance, riesgos y calidad, asegurará la satisfacción de sus intereses.

		utilización de los recursos económicos y el éxito de la implementación tecnológica.	
<b>Personal Operativo</b>		El turbogrupo posee limitaciones de tipo técnica que deberán ser solucionadas con esta implementación, las cuales entorpecen sus labores.	La gestión del alcance es clave para este requisito. Durante las labores de ingeniería y concepción del sistema, se deberá vincular a estos interesados.
		Los nuevos sistemas no serán conocidos por los operadores, lo cual causará traumatismos e inconformidades.	Para dar trámite a este requerimiento, se deberán tener planes de capacitación, los cuales deberán ser elaborados y revisados minuciosamente con el fin de asegurar que cumplen con su fin.
<b>Personal mantenimiento</b>	<b>de</b>	Con la implementación se ven beneficiados por no tener que lidiar en el futuro con equipos obsoletos o que son cajas negras; como contra parte el nuevo sistema también requerirá tiempo y capacitaciones para ser dominado.	Para dar trámite a este requerimiento, se deberán tener planes de capacitación, los cuales deberán ser elaborados y revisados minuciosamente con el fin de asegurar que cumplen con su fin. Además se deberá incluir al cuerpo de mantenimiento en las labores de ejecución.
<b>Profesional prevención de riesgos</b>	<b>de</b>	Esta persona está encargada de velar por la seguridad de las personas, animales y equipos de la central, por lo cual, un proyecto de esta envergadura lo	Se deberá incluir a esta persona en los análisis de riesgo orientados a seguridad de personas y en la elaboración y/o revisión de planes de ejecución de actividades

	afecta directamente.	de alto riesgo.
<b>Comunidades vecinas</b>	Las labores a ser realizadas es posible que perturben la tranquilidad de comunidades cercanas como el SENA.	Se deberá incluir a estos grupos en las reuniones de ejecución de tareas que se realicen en cercanía a ellos. Al igual que en el momento en que se identifiquen riesgos o posibles afectaciones

## **2. GESTION DEL ALCANCE**

### **2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE GENERACIÓN**

Para describir los procedimientos llevados a cabo por una termoeléctrica se usara como guía la figura 1, en la cual se muestra cada uno de los procesos a seguir para generar energía eléctrica. Para facilitar la explicación del funcionamiento de la planta se realizara este análisis por secciones, dichas secciones serán: circuito de combustible, circuito de agua, circuito de vapor, circuito eléctrico.

#### **Circuito de combustible**

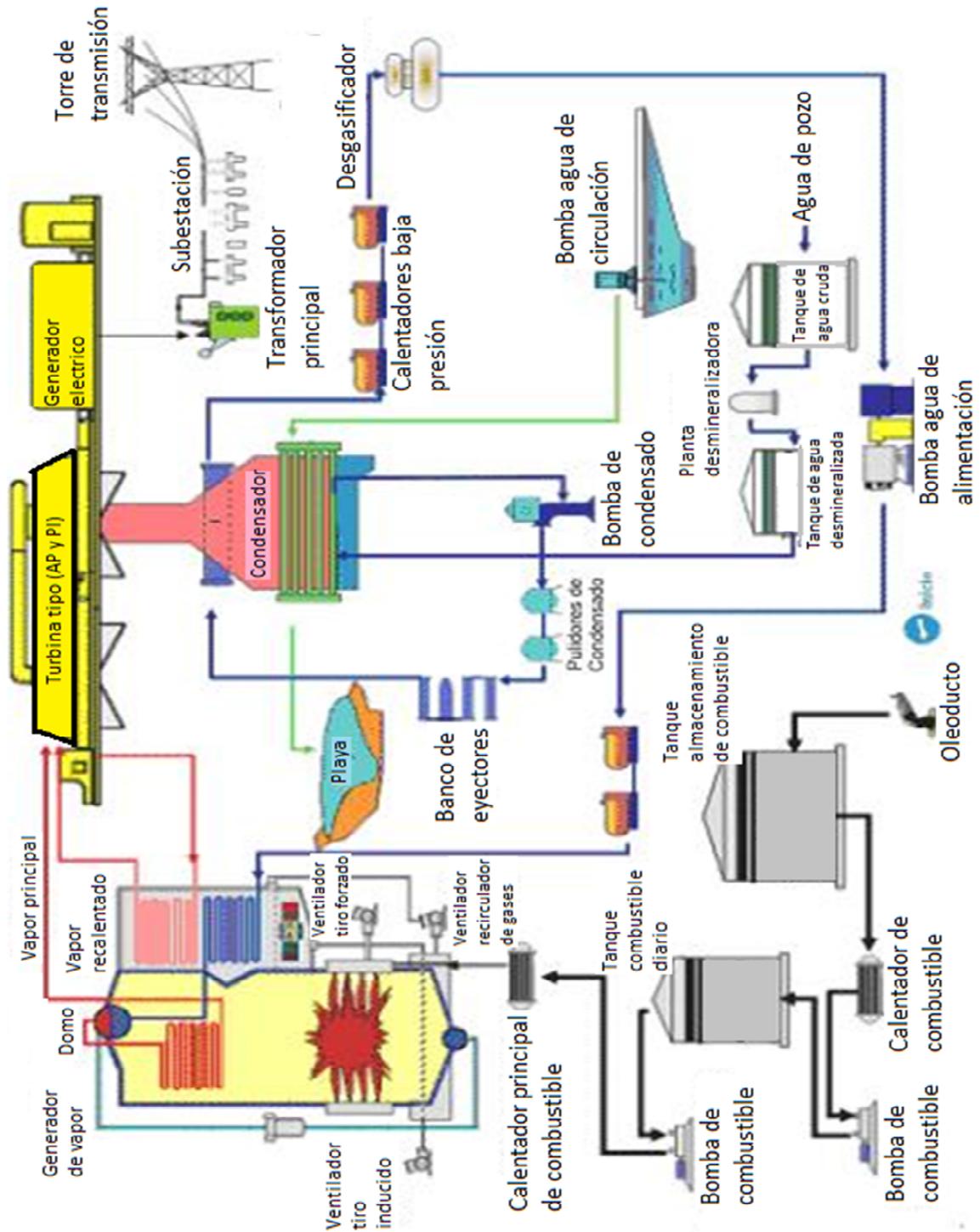
Se puede identificar en la figura 1 este circuito por las líneas negras, que muestran su trayecto.

El circuito de combustible comienza con la obtención del inflamable a usar para la generación de calor, éste puede ser obtenido a través de la conexión a un oleoducto o por carro tanques que transporte el combustible hasta el tanque de almacenamiento, una vez en el tanque de almacenamiento el combustible es trasladado hasta el tanque diario correspondiente a la caldera que vaya a entrar en actividad; en se trayecto pasa por un calentador del inflamable para elevar su temperatura para que en etapa futuras sea más fácil su combustión. Del tanque diario el combustible es llevado a la caldera y hasta la etapa de combustión, durante ese trayecto se sigue aumentando su temperatura. Al llegar este a la caldera es quemado para elevar la temperatura dentro de la misma.

#### **Circuito de agua**

Para seguir el trayecto del circuito del agua, vea en la figura 1 la líneas azules; Primeramente se toma el agua de un pozo o del mar (pero debe desalinizarse antes de seguir por el circuito), se filtra y pasa al tanque de agua cruda, de donde pasa a una desmineralizadora para ser tratada y luego es enviada al tanque de agua desmineralizada, para ser empleada por el circuito de agua de la caldera y demás sistemas.

Figura 1. Procedimientos de generación de energía en una termo electrica.



Fuente: <http://equipo12fuentes.wordpress.com/>

Una bomba de condensado jala el agua a través de una serie de condensadores, para igualar su temperatura con el agua que ya se encuentra en circulación y para elevar su temperatura para en etapas futuras facilitar su evaporación. El agua sigue hacia unos bancos eyectores, donde los gases no deseados son extraídos de este circuito, de ahí pasa a unos condensadores e intercambiadores de calor donde eleva una vez más su temperatura, sigue a unos calentadores de baja presión y luego a un desgasificador. La bomba de alimentación que etapas anteriores empujaba el agua, la sigue dirigiendo hasta una última etapa de calentadores y hasta unos serpentines dentro de la caldera donde la idea es llevar la temperatura del agua hasta un punto cercano a la temperatura de ebullición antes de llegar al domo dentro de la caldera.

### **Circuito de vapor**

Las líneas rojas de la figura 1 representan el camino seguido por el vapor. Del domo dentro de la caldera sale el vapor hacia unos serpentines en el hogar para llevar el vapor a condiciones de temperatura y presión adecuadas para ser enviado a la turbina. Este vapor es llevado hasta las toberas donde se realiza la última adecuación del vapor e ingresa a la turbina de alta presión (AP) y de presión intermedia (PI), chocando contra los alabes fijos y móviles produciendo la rotación del eje de la turbina.

### **Circuito eléctrico**

El movimiento mecánico de rotación producido por el vapor en el eje de la turbina, el cual se encuentra acoplado a un generador, hace que este último genere energía eléctrica. La energía eléctrica generada es enviada a un transformador principal donde se hacen las primeras adecuaciones a las tensiones y corrientes del sistema interconectado de energía; otras adecuaciones son realizadas en las subestación y por último es enviada a las torres de trasmisión de alta o media tensión según sea el caso.

Como se puede observar en la figura 2, para la generación de energía eléctrica en las centrales termoeléctricas y otras parecidas se llevan a cabo una serie de transformaciones de energía; energía química, energía calórica, energía cinética, energía mecánica y por ultimo energía eléctrica. Todas estas dentro de los cuatro circuitos descritos anteriormente.

Figura 2. Energías empleadas en un proceso de generación eléctrica de una termo eléctrica.



## 2.2. DESCRIPCIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LA TURBINA Y SISTEMAS ANEXOS

Como premisa principal antes de comenzar un proceso de automatización se debe conocer sus características, instrumentación y funcionamiento.

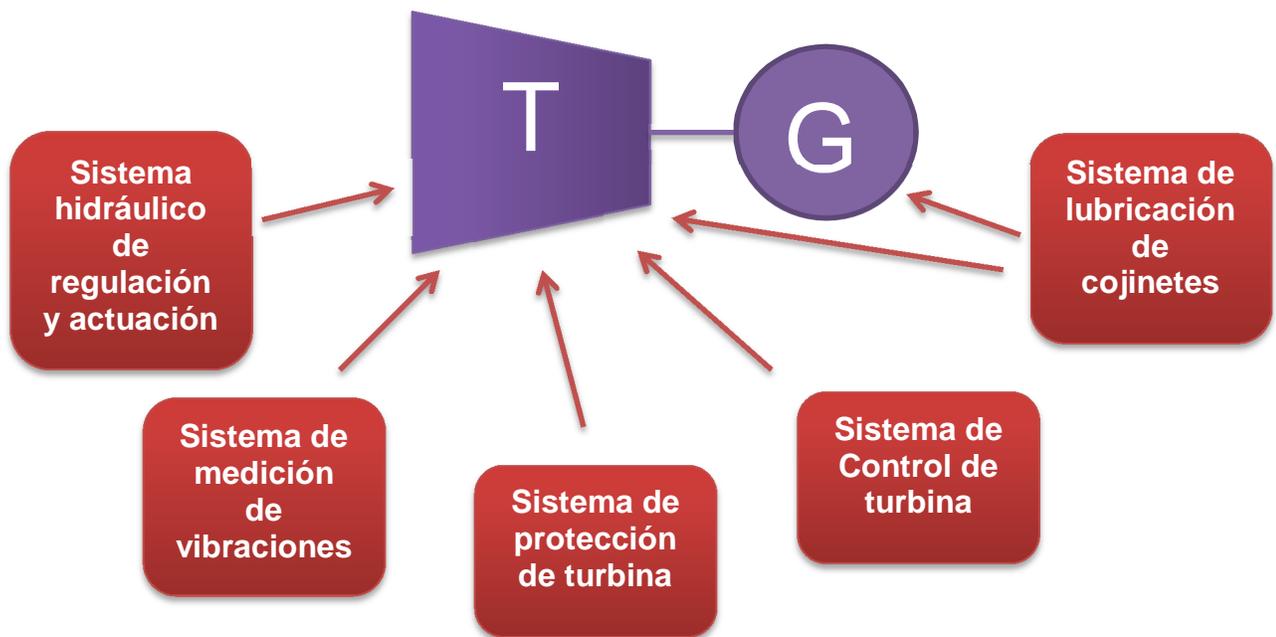
Así se procede a identificar el objeto de estudio de la automatización, la turbina de la unidad 3 de Emgesa S.A. ESP Cartagena, su instrumentación y su sistema de control.

Para profundizar en el conocimiento de la planta, del proceso y de los inconvenientes se utilizarán manuales de operación, planos, informes de funcionamientos, históricos, información suministrada por operadores, técnicos y demás personal involucrado con el proceso.

### 2.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TURBINA

A continuación, en la figura 3, se mostrarán los subsistemas principales del sistema turbina, los cuales serán tratados en este documento e intervenidos durante la ejecución del proyecto.

Figura 3. Descripción del sistema turbina y sus subsistemas.



### **2.2.1.1. Descripción general de funcionamiento de la turbina**

El vapor recorre en sentido axial la turbina de condensación de una sola carcasa, sale de la turbina por la caja de escape y se conduce al condensador, donde se expande a la presión propia del mismo.

El vapor proveniente de la caldera entra primeramente por las válvulas de cierre rápido, dispuestas a ambos lados de la carcasa de la turbina y, después de circular por ellas, llega a las válvulas de regulación. Las válvulas de cierre rápido tienen la misión de restringir, en caso necesario, el acceso de vapor a la turbina en un tiempo muy breve. Las válvulas de regulación regulan el caudal de vapor que circula a través de la turbina, en concordancia con las órdenes emitidas por el regulador en función de la potencia. Estas últimas se cerrarán cuando se estrangulen las válvulas de cierre rápido, alcanzándose así un doble cierre entre la red de vapor y la turbina. Desde cada una de las válvulas de regulación parte una tubería de vapor hacia las bocas de entrada. Estas tuberías se encuentran aisladas con perlita expandida y son elásticas a los efectos térmicos. Las bocas de entrada se encuentran en la zona central de la parte superior e inferior de la carcasa.

### **2.2.1.2. Carcasa de la turbina**

La carcasa de la turbina está axialmente dividida. La parte delantera de la carcasa es doble para escalonar las diferencias de presiones existentes y someter las bridas de las juntas a una carga reducida, evitando así las dificultades propias de la acumulación de masas. En la carcasa de la turbina se han montado la carcasa interior, que comprende la etapa de regulación, el sistema de álabes de alta presión (alabes fijos) y el piso intermedio, así como tres soportes de álabes directrices. La carcasa interior y los soportes de los álabes directrices, se suspenden de la carcasa externa de forma que, manteniendo su concetricidad respecto al rodete, se pueden dilatar libremente tanto en sentido radial como axial. En concordancia con ello, se establecen las uniones de las tuberías de vapor con las bocas de entrada y de extracción en la carcasa interior, empleando anillos angulares, de tal forma que se consigue su movilidad tanto en el sentido axial como en el radial. La hermeticidad de la unión queda garantizada por la presión interna.

Tres partes de la carcasa están provistas de toberas para la etapa de regulación. Desde la cuarta parte de la carcasa puede circular el vapor, durante el servicio de sobrecarga, directamente al recinto del rodete, pasando por el rodete de la etapa de regulación. La etapa de regulación de AP es de acción, por permitir las cargas parciales, mientras que las etapas siguientes del tambor son de reacción. Después de salir de la carcasa interior, el vapor circula entre ésta y la exterior hacia el soporte de los álabes directrices, por el que circula en sentido opuesto al inicial. El

primer soporte de álabes directrices lleva en la parte de entrada una pared, que divide en dos cámaras de vapor la parte de dos envolturas de la carcasa exterior.

Por ser diferentes las temperaturas de la carcasa interior y del soporte de los álabes directrices en comparación con la carcasa exterior, al proyectar la turbina se puso especial cuidado en la movilidad térmica de las piezas tanto en sentido axial como radial. Por lo tanto, la carcasa interior y el primer soporte de los álabes directrices están en condiciones de dilatarse radial y axialmente, manteniendo la concentricidad de las partes de la carcasa respecto al rodete, para guardar así las holguras radiales.

El recinto del rodete de la carcasa interior se cierra respecto al recinto que se encuentra delante del primer soporte de los álabes directrices con una obturación interna del eje. Los otros soportes de los álabes directrices, pertenecientes a las etapas de baja presión que hay a continuación, se sujetan a la carcasa de la salida del vapor, de ejecución soldada, que están unidas entre sí por una brida redonda. A través de esta última carcasa, se conduce el vapor expandido al condensador.

### **2.2.1.3. Sujeción, alineación y guía de la carcasa**

La carcasa de la turbina se sujeta y se alinea en la caja del cojinete anterior mediante garras y guías. La caja del cojinete posterior es parte componente de la caja de salida del vapor. La alineación tiene especial importancia puesto que el rodete de la turbina y la carcasa de la misma se apoyan con independencia entre sí en la caja de los cojinetes. Mientras que la posición del rodete queda dada por los cojinetes. Para la fijación de la carcasa hay que considerar efectos de la dilatación térmica. La situación en altura de la carcasa se determina por el apoyo de las garras, mientras que la holgura en la cabeza de los tornillos, con los que se sujetan las garras a la caja del cojinete delantero, permite una dilatación térmica lateral de la carcasa respecto a dicha caja. La carcasa se fija en su posición central, en el plano horizontal, con las guías superior e inferior. Las guías de la carcasa están construidas de forma que la carcasa exterior se pueda dilatar libremente hacia arriba y hacia abajo. La carcasa de salida de vapor está fijada respecto a la placa de base por unos pernos laterales que permiten su libre dilatación radial.

Como la guía central inferior de la carcasa no permite el desplazamiento axial de la misma respecto a la caja del cojinete, al calentarse la carcasa, se desplaza hacia delante la caja del cojinete delantero. Las tuberías de aceite son flexibles. La guía de la caja del cojinete delantero sobre chavetas axiales, impide su desplazamiento lateral. Una chaveta situada en la parte posterior impide, igualmente, que la carcasa de salida de vapor, unida por tornillos a la carcasa de la turbina, se desplace lateralmente respecto a la placa de base.

#### **2.2.1.4. Rodete y cojinetes**

El rodete se manufactura partiendo de una pieza forjada de acero aleado. Los cojinetes del rodete se han dispuesto en dos cajas. La anterior alberga el cojinete combinado axial/radial que fija el rodete y absorbe las fuerzas axiales. En la caja del cojinete posterior se han montado el dispositivo hidráulico de giro.

#### **2.2.1.5. Conjunto de álabes**

El conjunto de álabes consta de una etapa de acción, que permite la regulación favorable de la turbina a cargas parciales, y de las etapas de reacción, montadas en las partes del tambor. Las holguras radiales y axiales se han dimensionado de forma tal que se alcance una elevada seguridad de servicio, aprovechando económicamente la diferencia de temperaturas.

#### **2.2.1.6. Obturaciones(sellos) del eje**

Su finalidad consiste en reducir, al mínimo posible, las cantidades de vapor que se escapan por los extremos de la carcasa, entre ésta y el rodete, así como proteger el vacío de la parte de baja presión contra la entrada del aire atmosférico.

#### **2.2.1.7. Regulación**

La turbina se regula por vía hidráulica. Como generador de impulsos sirve el convertidor de medición del número de revoluciones hidráulico, accionado por el rodete de la turbina.

#### **2.2.1.8. Vigilancia de la turbina**

Aparte de los instrumentos de medición e indicación para presiones, temperaturas, posiciones de válvulas y el número de revoluciones, el sistema de vigilancia incluye también los equipos para medir e indicar los valores siguientes:

- a. Dilatación absoluta, que se mide en la caja del cojinete delantero.
- b. Dilataciones relativas entre el eje y la carcasa de la turbina, tanto en la caja del cojinete delantero como posterior.

- c. Vibraciones absolutas, que se miden en ambas cajas de los cojinetes de la turbina.
- d. Vibraciones absolutas del eje, medidas en todas las cajas de los cojinetes del turbogruppo.

#### **2.2.1.9. Abastecimiento de aceite**

El abastecimiento de aceite abarca, en un sistema común, la lubricación y la refrigeración de los cojinetes, la regulación y el mando, la función de los accionamientos reguladores hidráulicos, los equipos de seguridad y de protección, así como el equipo de giro hidráulico. La bomba principal de aceite la impulsa el eje de la turbina; dicha bomba aspira el aceite del depósito principal.

Las bombas auxiliares garantizan el abastecimiento de aceite durante los procesos de arranque, de parada y de giro así como para el caso de perturbaciones de la bomba principal de aceite. La bomba de alivio impulsa aceite a alta presión debajo del muñón del eje, para evitar fricciones mixtas.

El aceite destinado a la lubricación y a la refrigeración, será enfriado en refrigeradores de aceite antes de que penetre en los cojinetes.

### **2.2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA**

La turbina de la unidad 3 de la empresa Emgesa S.A. ESP Central Cartagena, posee un sistema de control basado en tecnología oleohidráulica, el cual cumple su función de control establecida hace 30 años atrás; sin embargo con el paso del tiempo, los nuevos estándares de seguridad, medio ambiente y requerimientos operativos exigen una modernización de la máquina.

A continuación se describirá el estado actual de los subsistemas principales

#### **2.2.2.1. VÁLVULAS PRINCIPALES DE TURBINA**

El sistema de actuación de los elementos finales de la turbina, es oleo hidráulico, las válvulas de cierre, regulación y desvío no son la excepción. Para el año 2014, se ha programado overhaull de los 3 grupos de válvulas. A continuación, en las figuras 4, 5 y 6, se muestra una vista general de todas las válvulas de cierre rápido y regulación.

### 2.2.2.1.1. Válvulas de cierre rápido

Las válvulas de cierre rápido tienen como fin principal, realizar el corte de flujo de vapor hacia las turbinas. Estas son dos y están catalogadas como izquierda y derecha. La figura 4 muestra la válvula de cierre rápido izquierda.

Figura 4. Válvula izquierda de cierre.



La válvula de cierre rápido se abre por vía oleo hidráulica y se cierra por la acción de un resorte.

### 2.2.2.1.2. Válvulas reguladoras

Las válvulas reguladoras tienen por objeto adaptar el caudal del vapor a la carga de la turbina. Son cuatro en total y están enumeradas de la 1 a la 4. Su actuación, consiste en suministrar presión a cada uno de sus correspondientes actuadores, para lograr la apertura requerida, teniendo en cuenta los settings ajustados con resortes y prisioneros. En la figura 5, se observa la válvula reguladora de turbina No 3.

**Figura 5. Válvula reguladora No 3.**



#### **2.2.2.1.3. Válvula combinada de cierre rápido y regulación**

Como se muestra en la figura 6, en una caja común se han dispuesto, una válvula de cierre rápido y otra de regulación. La primera establece cierre principal entre la red de vapor y la turbina, como se mencionó previamente, teniendo la capacidad de interrumpir el ingreso de vapor a esta en un tiempo muy breve. La válvula reguladora tiene la finalidad de adaptar el flujo de vapor a la carga respectiva.

**Figura 6. Válvula combinada de cierre rápido y regulación.**



#### **2.2.2.1.4. Regulación de desvío o sobreproducción**

El sistema de regulación de desvío o sobreproducción BP, tiene como finalidad principal desviar el vapor vivo sobrante hacia el condensador, al iniciar la marcha de la turbina o al ocurrir ciertas perturbaciones en el servicio. Al aumentar la presión de vapor, el regulador de desvío abre la válvula de cierre rápido de desvío y la válvula reguladora de desvío. Para refrigerar el vapor caliente mediante condensado, hay que abrir la válvula de inyección de agua, antes de que llegue a abrirse la válvula de desvío.

La actuación del regulador será dependiente de la presión de agua de inyección y el vacío en el condensador sea bastante alto.

El estado de las válvulas de cierre rápido y regulación de desvío, se transmiten a la sala de mando mediante finales de carrera.

#### **2.2.2.1.5. Válvula de desvío**

Una válvula de desvío de cierre rápido y una válvula reguladora de desvío están montadas juntas en una caja común. Esta combinación de válvulas tiene por objeto desviar hacia el condensador el vapor que no sea recibido por la turbina. La regulación de las válvulas de desvío se efectúa a través del regulador de desvío BP.

#### **2.2.2.1.6. Válvula de desvío de cierre rápido**

Esta válvula, que puede estar cerrada o completamente abierta, está dispuesta en la parte inferior de la válvula.

#### **2.2.2.1.7. Válvula reguladora de desvío**

La válvula reguladora de desvío, dispuesta en la parte superior de la caja, controla la cantidad del vapor de desvío según las señales de los reguladores de desvío BP.

### **2.2.2.2. SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE TURBINA**

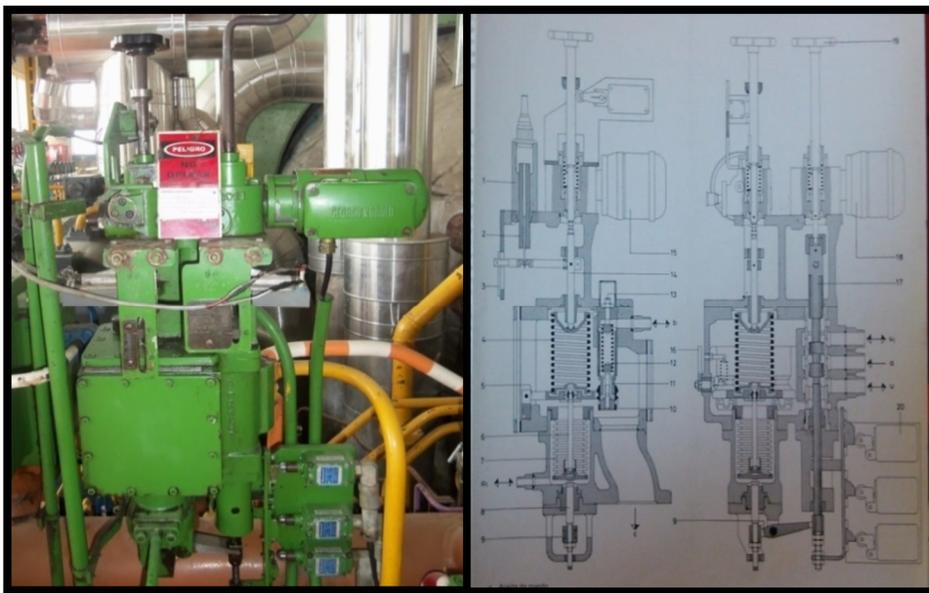
La turbina de la unidad 3 opera a 3600rpm, a esta velocidad y sincronizada con la red, entrega hasta 77MW a 13,8 Kv y una frecuencia de 60 Hz.

El sistema de control de turbina, al igual que todo el de la unidad, es marca Siemens y está basado en tecnología de los años 70. Con el pasar del tiempo, los módulos y controladores se han vuelto de difícil adquisición por lo cual en algunos casos han sido homologados.

### 2.2.2.2.1. Funcionamiento del sistema de control de velocidad

El arranque y el aumento de la velocidad de la turbina hasta la velocidad requerida se efectúa mediante las válvulas reguladoras. El dispositivo de ajuste de la velocidad SE10C002, el cual se muestra en la figura 7, está ajustado a 'velocidad mínima'. Las válvulas reguladoras y de cierre rápido están cerradas, ya que el circuito de aceite de cierre rápido está aún sin presión. Primeramente se distiende el resorte del émbolo t08 mediante el volante o el motor del dispositivo de arranque y de limitación de apertura SE10 C003 (girando el volante en el sentido de las agujas del reloj o accionando el motor en el sentido de "cerrado") a través de un sistema de palancas, de manera que no se pueda formar ninguna presión de aceite auxiliar secundario. El convertidor para la regulación de la velocidad SE10 C005 con los émbolos consecutivos t01 y t03 está ahora en posición "válvulas reguladoras cerradas". De esta manera no se puede formar ninguna presión de aceite secundario al engatillar el dispositivo de cierre rápido SC14 K001.

Figura 7. Sistema de ajuste de velocidad SE10C002.



Fuente: Manual turbo grupo – Kraftwerk Union- 1980

Al continuar girando el volante, la corredera t02, perteneciente al dispositivo de arranque, es empujada más hacia abajo, dando así paso al aceite de mando, primero al circuito de aceite de arranque y, a continuación, al circuito de aceite auxiliar de arranque. El aceite de arranque pasa por las correderas de prueba y las empuja hacia abajo, contra la fuerza del resorte. El aceite auxiliar de arranque eleva el émbolo del dispositivo de cierre rápido SC14 K001 y da así paso al aceite de cierre rápido hacia las correderas de prueba SC14 S001 y 002 de las válvulas

de cierre rápido. De esta manera, el circuito del aceite de cierre rápido queda cerrado.

El aceite de cierre rápido puede fluir ahora por encima de los émbolos t01 de las válvulas de cierre rápido SA11 S001 y 002 oprimiéndolos sobre los émbolos inferiores t02, constituidos en forma de platillos. Se continúa accionando el dispositivo de arranque hasta que se alcance la posición extrema inferior.

Haciendo girar a continuación el volante en sentido opuesto o accionando el motor en sentido hacia "abierto", el aceite de mando se evacúa primero del circuito de aceite auxiliar de arranque y, a continuación, del circuito de aceite de arranque. Los émbolos de las correderas de prueba SC14 S001 y 002 son empujados hacia arriba por la fuerza del resorte, de manera que la presión del aceite de cierre rápido se establece debajo de los émbolos t02 y se evacúa lentamente por encima de los émbolos t01. La diferencia de presión resultante hace que ambos émbolos se muevan a la posición extrema superior, abriendo así las válvulas de cierre rápido. El dispositivo de cierre rápido SC14 K001 es mantenido ahora por la presión de aceite existente debajo del escalón del émbolo diferencial.

Alcanzada la posición 'abierto' de las válvulas de cierre rápido, un movimiento ulterior del volante o el accionamiento del motor en el 'sentido de 'abierto' origina, después de una zona muerta determinada, el descenso de la palanca oscilante t03 y del casquillo t04; a continuación, la presión del aceite secundario, que va aumentando, abre lentamente las válvulas reguladoras a través del convertidor para la regulación de la velocidad SE10 C005 y los émbolos consecutivos t01 y t03. Así, la velocidad de la turbina se aumenta al 85 — 90 % aproximadamente de la velocidad nominal. Ahora entra en acción el regulador de la velocidad SE10 C001 de la turbina y mantiene constante su velocidad. A continuación, el dispositivo de arranque SE10 C003 se ajusta a la posición 'plenamente abierto'. El manómetro SC19 P501 y el convertidor eléctrico de medición de la velocidad SB11 Y011 sirve para medir la velocidad.

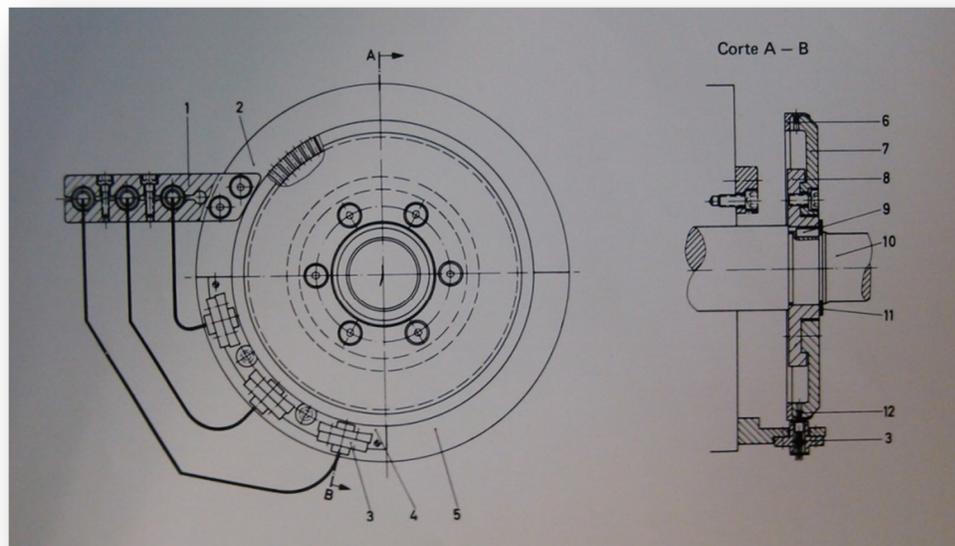
El aumento ulterior de la velocidad, la conexión en paralelo y la carga de la turbina se efectúan mediante el dispositivo de ajuste de la velocidad SE10 C002. Al girar el volante del dispositivo de ajuste de la velocidad o al accionar el motor correspondiente, se tensa más el resorte t02 de ajuste de la velocidad, lo que produce un aumento de la velocidad  $V_a$ , que en caso de servicio en interconexión, la velocidad es determinada por la red, un accionamiento del dispositivo de ajuste de la velocidad SE10 C002 origina entonces una modificación de la potencia de la turbina.

### 2.2.2.2. Descripción del sistema de medición de velocidad

El convertidor eléctrico de medición, se encuentra instalado en la carcasa del cojinete delantero.

Como se observa en la figura 8, se utiliza un disco antimagnético (7); sobre su perímetro están dispuestos 120 imanes permanentes pequeños de polaridad alterna (12). Este disco está fijado mediante un anillo (8) al eje (10) de la bomba de aceite principal. Con respecto a los imanes están alineados dos generadores de efecto "Hall" (3), fijados en el soporte (4).

Figura 8. Esquema del sistema de medición de velocidad.



Fuente: Manual turbo grupo – Kraftwerk Union- 1980

### 2.2.2.2.3. Funcionamiento del sistema de medición de velocidad

Como se mencionó en el apartado anterior, el disco magnético está colocado sobre el eje de la bomba de aceite principal y gira con la misma velocidad de la turbina.

El disco magnético con los imanes insertados, pasa por delante de los generadores Hall, los cuales emitan al paso de cada imán un impulso de tensión; teniendo en cuenta que el disco consta de 120 imanes a lo largo de su perímetro, una revolución generará una señal de 120 impulsos de tensión.

Para facilitar una medición exacta del número de revoluciones en la gama de pequeñas velocidades, se han previsto dos campos de medición: el rango inferior abarca hasta 420 rpm y el superior desde 0 hasta 4200 rpm. El cambio del campo inferior al superior y viceversa se efectúa automáticamente.

Por medio de los conversores de señal Wavemuller WAS6 TTA, los cuales se muestran en la figura 9, se obtienen señales proporcionales en magnitudes de corriente y tensión para activar permisos y alimentar indicadores en sala de control.

**Figura 9. Imagen del módulo Wavemuller Was6 TTA.**

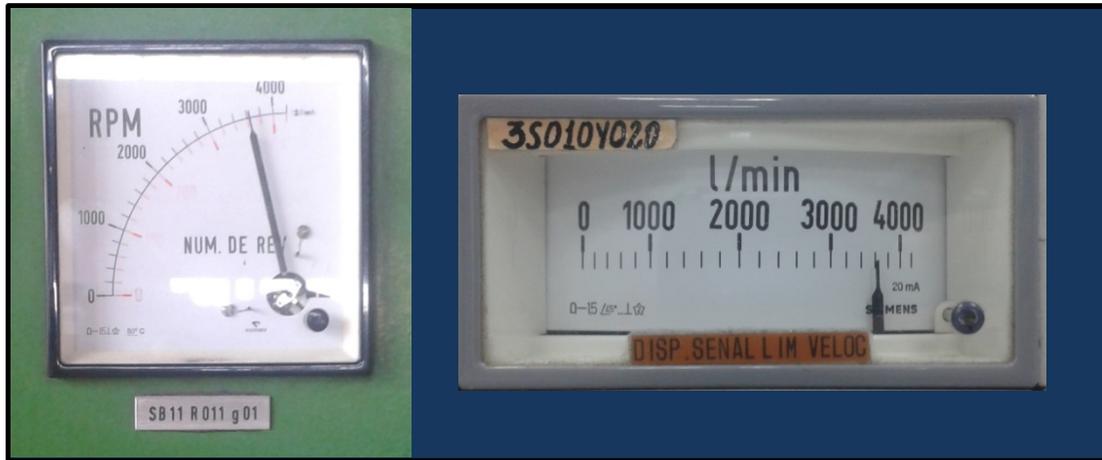


Los acondicionadores de señal Wavemuller WAS6 TTA han sido integrados al sistema de control de velocidad por falla y obsolescencia de las tarjetas que realizaban estas funciones.

#### **2.2.2.2.4. Indicación de velocidad**

Para la indicación de la velocidad, existen dos indicadores análogos, los cuales se aprecian en la figura 10 y están distribuidos así: uno en la mesa de control y otro en el pedestal de la turbina.

**Figura 10. Indicadores de velocidad de turbina. A la izquierda indicador local en pedestal de turbina. Al lado derecho Indicación en sala de control.**



**Fuente: Manual turbo grupo – Kraftwerk Union- 1980**

Adicionalmente, el sistema para el monitoreo en línea, de las vibraciones de la turbina, **Bently Nevada 3500 Monitor**, posee un sensor de velocidad llamado **Keyphasor** del cual se posee indicación y sirve como respaldo ante fallas de la indicación del sistema de control.

### **2.2.2.3. DISPOSITIVO HIDRÁULICO DE ALIVIO DE COJINETES.**

#### **2.2.2.3.1. Objeto**

El dispositivo hidráulico de alivio se necesita para formar o mantener una película de aceite entre el rodete y los cojinetes cuando la velocidad sea pequeña (durante las fases de arranque y parada), ya que si no, pueden deteriorarse los cojinetes debido al rozamiento en seco-como consecuencia de la baja velocidad. Además, al poner en marcha la máquina, el empleo del dispositivo de alivio reduce el par de giro que ha de desarrollar el dispositivo hidráulico o manual de giro.

#### **2.2.2.3.2. Funcionamiento**

El alivio de los cojinetes se efectúa mediante aceite a alta presión que se impulsa por debajo de los correspondientes muñones del rodete elevando este último.

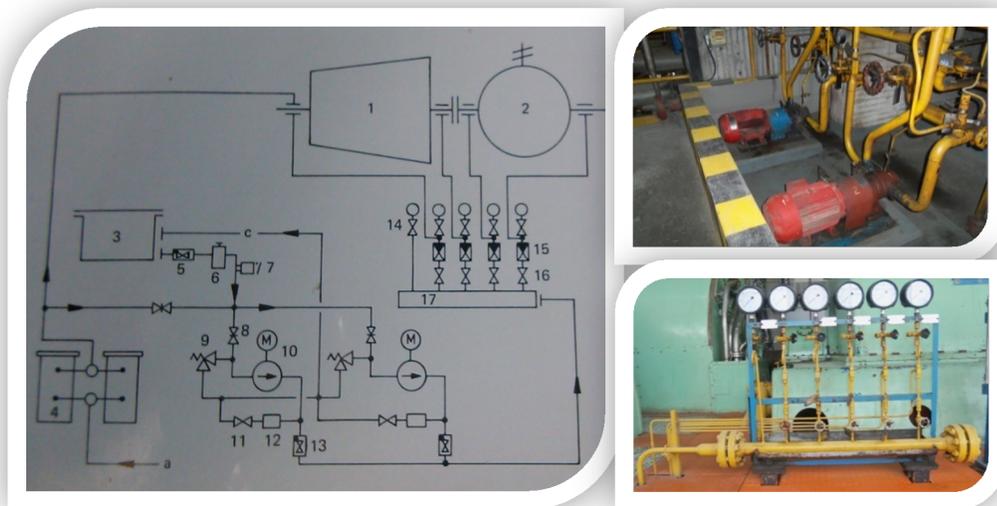
#### **2.2.2.3.3. Valores límite de velocidad**

Para impedir daños de los cojinetes, la bomba de aceite de alivio debe estar conectada ya antes de llegar el rodete a una velocidad determinada.

#### 2.2.2.3.4. Bomba de aceite de alivio y abastecimiento de aceite

Tal y como se muestra en la figura 11, el aceite a alta presión es suministrado por la bomba de alivio (10). El aceite ya filtrado es alimentado a esta bomba a través de las válvulas de paso (8) desde el circuito de aceite de lubricación "a". El aceite puede fluir también desde el tanque principal (3) situado a un nivel más alto, a través de una válvula de retención cerrable (5). Dicha válvula debe estar siempre abierta y se cierra con la presión del aceite de lubricación, de manera que el aceite no pueda refluir al tanque principal.

Figura 11. Esquema y vistas físicas del sistema de aceite de alivio.



Fuente: Manual turbo grupo – Kraftwerk Union- 1980

Para evitar que al conectar la bomba del aceite de alivio se establezcan de repente presiones inadmisiblemente altas en las tuberías, se han dispuesto en las mismas válvulas de seguridad cargadas por un muelle (9) y válvulas limitadoras de la presión (12) reguladas anticipadamente. El aceite sobrante se conduce a la tubería de reflujo del aceite "c" a través de dichas válvulas.

#### 2.2.2.3.5. Presión del aceite de alivio en las tuberías de aceite

El aceite de alivio se transporta a la tubería colectora (17) mediante la bomba de aceite de alivio (10). Las presiones necesarias para el aceite de alivio se ajustan, mediante las válvulas de regulación fina (16), para cada cojinete en las tuberías de aceite correspondiente a cada uno de los cojinetes. Las chapaletas de retención

(15), dispuestas en las tuberías de aceite de alivio, impiden que durante el servicio de la turbina, durante el que el dispositivo de alivio debe estar naturalmente desconectado, el aceite procedente de los cojinetes pueda refluir a la tubería colectora.

#### **2.2.2.3.6. Disposición de los accesorios**

El tubo colector (17), las válvulas de regulación fina (16), las válvulas de retención (15) y los manómetros (14) correspondientes a cada tramo de aceite, están agrupados en un bastidor de accesorios, para poder observar la dosificación de las diferentes presiones del aceite de alivio y poder manejar las válvulas desde un puesto central.

#### **2.2.2.4. DISPOSITIVO HIDRÁULICO DE GIRO DEL EJE (GIRO LENTO)**

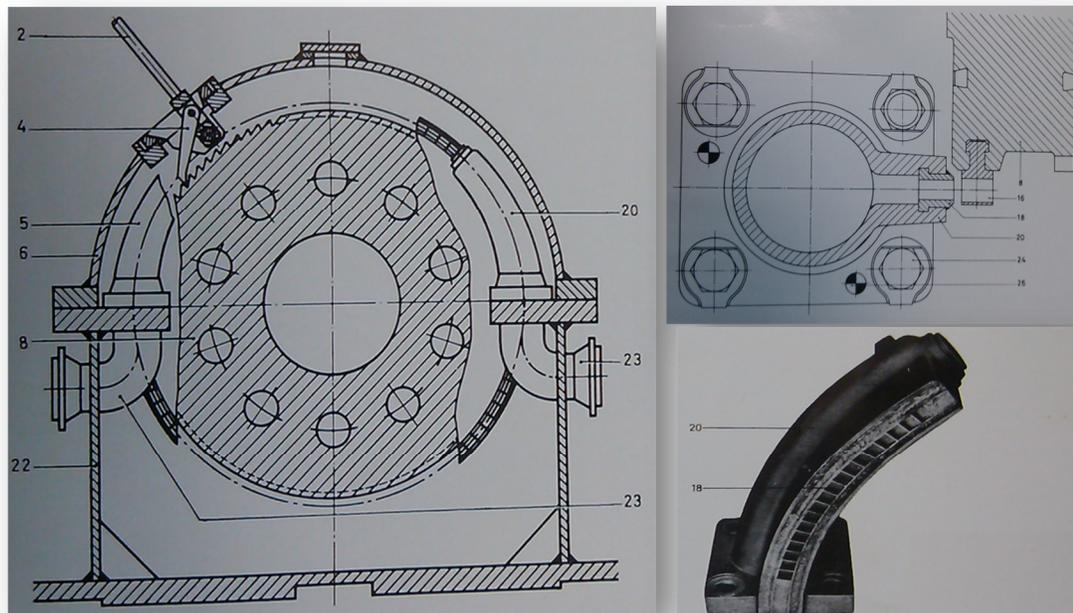
##### **2.2.2.4.1. Misión**

El dispositivo hidráulico de giro del eje tiene por finalidad poner el eje en rotación, a una velocidad suficiente, cuando se va a iniciar la marcha del turbogruppo, o mantener una velocidad de giro suficientemente alta para la máquina. De esta forma se evita tanto el calentamiento como el enfriamiento irregular y, por tanto, la deformación del rodete de la turbina. La ventilación de los álabes durante el servicio de giro, motiva un buen paso del calor a la pared interior de la carcasa, lo cual facilita la compensación de temperaturas entre la parte superior y la inferior de la carcasa.

##### **2.2.2.4.2. Funcionamiento**

El sistema de ejes se acciona durante el servicio de giro con aceite a presión que, como se aprecia en la figura 12, actúa sobre el rodete (8), unido al eje. La bomba auxiliar proporciona el aceite a presión, el cual llega a través de la válvula de cierre, a las toberas (18), que conducen el chorro de aceite al sistema de toberas (16) del rodete (8).

**Figura 12. Representación del dispositivo hidráulico de giro del eje.**



**Fuente: Manual turbo grupo – Kraftwerk Union- 1980**

#### **2.2.2.4.3. Elevación del eje**

Para vencer el par de despegue y con el fin de impedir el rozamiento en seco, los cojinetes se alivian durante breve tiempo con aceite a alta presión, conducido por la parte inferior, es decir, que los ejes se levantan ligeramente. El dispositivo de alivio de los cojinetes se escribe en el apartado correspondiente.

#### **2.2.2.4.4. Velocidad de rotación**

Cuando la válvula de cierre está completamente abierta, el dispositivo hidráulico de giro del eje consigue una velocidad de rotación que, en general, está comprendida entre 80 y 120 r/min.

#### **2.2.2.4.5. Circulación de aceite a presión**

El aceite de impulsión, después de pasar por el rodete, llega a la caja del cojinete y circula, junto con el aceite lubricante, a la tubería de retorno.

### **2.2.2.5. DISPOSITIVO DE GIRO MANUAL**

El dispositivo de giro manual, que constituye un suplemento del dispositivo hidráulico de giro del eje permite mover a mano el sistema de ejes.

#### **2.2.2.5.1. Objeto**

El dispositivo manual de giro es un complemento del dispositivo hidráulico de giro y permite mover a mano el eje. Dicho dispositivo sirve tanto para el empuje inicial del turbogruppo como también para girar el eje en un ángulo determinado.

#### **2.2.2.5.2. Constitución**

El dispositivo manual de giro se compone de una corona dentada fresada en el rodete (9) del dispositivo hidráulico de giro, así como del trinquete (8) que, accionando la barra de prolongación de la palanca (2), engrana en la corona dentada y hace girar, por lo tanto, al eje. En la posición aquí representada, el trinquete (8) no está engranado y queda apoyado contra el tope. El cerrojo (10) fija la palanca (2) en su posición.

#### **2.2.2.5.3. Accionamiento**

Para girar el eje debe quitarse la cubierta protectora (1), desbloquear el cerrojo (10) y hacer encajar la barra de prolongación sobre la palanca (2). Con ello, el dispositivo manual de giro está listo para el servicio.

Previo al accionamiento del sistema manual de giro, debe estar activo el sistema de alivio de cojinetes. En caso de presentar dificultad para girar el eje, significará que el sistema de alivio no está bien ajustado o que el rodete roza en alguna parte. En este caso debe buscarse la causa antes de iniciar la marcha con vapor.

Después de la utilización del dispositivo manual de giro, la palanca (2) y el trinquete (8) deben volver a colocarse en la posición aquí representada; quitar la barra de prolongación, fijar la palanca (2) con el cerrojo (10) y colocar la cubierta protectora (1).

### **2.2.2.6. CONTROL DE CARGA**

Desde el instante en que la máquina es sincronizada con la red, el sistema de regulación migrara de control de velocidad, la cual permanecerá en 3600 RPM, a el control de la carga.

La estrategia del sistema de control actual para la regulación de carga, se muestra en el ANEXO A

### 2.2.2.7. REGULACION EN FRECUENCIA

Este sistema en la actualidad se encuentra deshabilitado, por lo cual se podría incurrir en sanciones por parte de la CREG.

### 2.2.2.8. COMPROBACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE CIERRE RÁPIDO

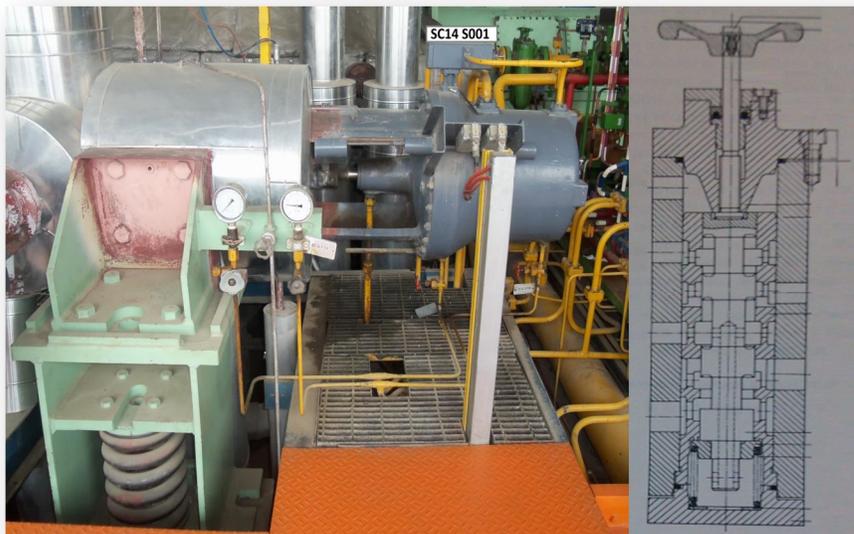
#### 2.2.2.8.1. Objeto

Con el fin de que las válvulas de cierre rápido cumplan su cometido, cuando el sistema así lo requiera, se ha dispuesto un sistema para la comprobación de las mismas.

#### 2.2.2.8.2. Funcionamiento

Con ayuda de las correderas de comprobación SC14 S001 y S002, las cuales se observan en la figura 13, y están dispuestas en cada una de las válvulas de cierre rápido, puede comprobarse la movilidad de estas por separado e incluso durante el servicio.

**Figura 13. Corredera SC14S001, para prueba de funcionamiento de las válvulas de cierre rápido.**



La válvula a comprobar, se va cerrando lentamente girando a la derecha el volante de la corredera de comprobación. Debe cerrarse solamente hasta el 50% de la

carrera total y debe abrirse nuevamente de inmediato, girando a la izquierda el volante de la corredera de comprobación.

### **2.2.2.9. DIAGNÓSTICO DE LAS PROTECCIONES Y PERMISIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE TURBINA**

A continuación se listarán las protecciones mecánicas y eléctricas del sistema de velocidad de turbina:

- Dispositivo de cierre rápido
- Disparo manual
- Disparo por sobre velocidad
- Disparo del dispositivo de vigilancia de la posición del eje.
- Disparo eléctrico a distancia.
- Disparo por bajo vacío en el condensador

#### **2.2.2.9.1. Dispositivo de cierre rápido**

El aceite de cierre rápido se toma del circuito de mando por medio del dispositivo SC14 K001, el cual se observa en la figura 14. Posteriormente circula por las válvulas de cierre rápido SA11 S001 y 002 y por los circuitos de aceite secundario.

**Figura 14. Dispositivo de Cierre rápido SC14 K001.**



El dispositivo de cierre rápido se emplea para reducir rápidamente la presión del aceite en el circuito de cierre rápido. Si la presión que existe debajo del émbolo diferencial del dispositivo de cierre rápido SC14 K001 se reduce a menos de un valor ajustable, la fuerza del muelle empuja el émbolo hacia abajo, da paso al aceite rápido hacia el retorno y corta la afluencia del aceite de mando.

Si la presión existente en el circuito del aceite de cierre rápido llega a ser inferior a un cierto valor, los émbolos superior e inferior de las válvulas de cierre rápido SA11 S001 y 002 son separados por la fuerza del muelle y las válvulas de cierre rápido actúan instantáneamente. Al mismo tiempo se cierran también las válvulas reguladoras y las de cierre rápido de toma, puesto que los circuitos del aceite secundario se alimentan del circuito de aceite de cierre rápido. Si se produce un disparo del cierre rápido, se cierran todos los dispositivos de cierre y de mando de la turbina.

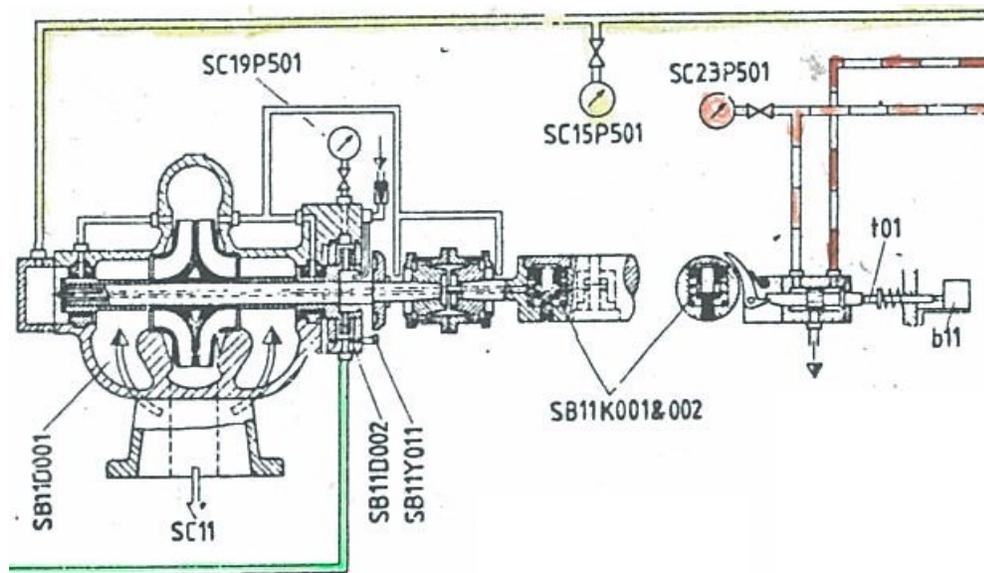
#### 2.2.2.9.2. Disparo manual

Este se puede realizar con el accionamiento de la palanca SC14 K001 T01, la cual se encuentra acoplada al dispositivo de cierre rápido SC14 K001, como se observa en la figura 15.

#### 2.2.2.9.3. Disparo por sobre velocidad de turbina

Los dos guardas revoluciones SB11 K001 y 002, tienen por finalidad parar la turbina en caso de producirse un exceso de velocidad.

**Figura 15. Guarda revoluciones SB11K001 y SB11K002.**



**Fuente: Manual turbo grupo – Kraftwerk Union- 1980**

Se han dispuesto de pernos de percusión en el eje, cuyos centro de gravedad están desplazados del centro geométrico. Tienen unos muelles que los retienen en su posición de reposo, contra la fuerza centrífuga, hasta que se alcance una velocidad ajustable que sobrepase en un 10% la normal. Si la velocidad supera el porcentaje ajustado, la fuerza centrífuga del perno es superior a la del muelle y el embolo sale bruscamente, adoptando su posición extrema final. Entonces incide sobre un gatillo que bloquea la corredera del aparato de disparo t01. Por la presión del aceite y del muelle, dicha corredera abre el circuito de aceite auxiliar de cierre rápido hacia el dispositivo de cierre rápido SC14 K001.

#### **2.2.2.9.4. Disparo del dispositivo de vigilancia de la posición del eje.**

Si el eje de la turbina experimenta un desplazamiento axial que supera el valor admisible, el dispositivo SB11 K011 (levas de incisión) provoca los movimientos de las palancas y del embolo diferencial anteriormente indicados. El engatillamiento del dispositivo de vigilancia se consigue con la corredera de maniobra SC11 S021, que libera el paso del aceite de mando por debajo de la corredera, con lo que la corredera del aparato de disparo t01 retrocede a la posición de servicio.

En el circuito del aceite de cierre rápido hay dos presostato SC14 P011 y SC14 P012 incorporados, que puentean el relé de tiempo prolongado de la protección de potencia inversa, de tal manera que, a través del relé de tiempo breve, desconectan el generador tan pronto como éste, absorbiendo energía, es decir funcione como motor. Al mismo tiempo, se emite a la sala de mando el aviso “Ha actuado el cierre rápido”.

#### **2.2.2.9.5. Disparo eléctrico a distancia.**

El disparo eléctrico a distancia se produce con las válvulas magnéticas SC11 S041 y SC11 S0 42. El accionamiento del disparo eléctrico a distancia se puede realizar a mano, desde la sala de mando, por medio del emisor de contactos, por medio del relé de potencia inversa de la protección del generador o mediante dispositivos similares.

#### **2.2.2.9.6. Disparo por bajo vacío en el condensador**

Al aumentar la presión en el condensador, la fuerza del resorte empuja la corredera del presostato SC24 K004, el cual se aprecia en la figura 16, partiendo de la posición extrema superior, hacia abajo, con lo que se abre el circuito de aceite auxiliar de cierre rápido. Este se queda sin presión y el embolo diferencial del dispositivo de cierre rápido SC14 K001 se dispara por la acción del muelle. El circuito de aceite de cierre rápido se abre, se anula la presión del aceite y se cierra todas las válvulas de cierre rápido y de regulación de la turbina. El interruptor

limitador correspondientes b11 indica en la sala de mando que el presostato del condensador SC24 K004 ha hecho funcionar el cierre rápido.

**Figura 16. Presostato para detección de bajo vacío en el condensador.**



Con el fin de que, estando parada la turbina y faltando el vacío para ajustar y comprobar la regulación o para fines similares, se pueda engatillar el dispositivo del cierre rápido y establecer la presión del aceite de dicho circuito, el presotato del condensador está equipado de un embolo adicional, dispuesto encima del muelle de ajuste y sometido a la presión del aceite primario. Esta presión no existe mientras la turbina este parada, por lo que el embolo adicional relaja el muelle de ajuste dispuesto sobre el sistema de membranas. Mediante el muelle situado

debajo del sistema de membranas, se levanta la corredera hasta tal punto que el circuito de aceite auxiliar de cierre rápido quede cerrado, pudiéndose engatillar entonces el dispositivos de cierre rápido.

Tan pronto como la turbina haya arrancado y acelerado, llegara el aceite primario sobre el embolo adicional y lo empujara

#### **2.2.2.9.7. Permisivos**

- Estando la turbina a 3200 RPM, el sistema de control permitirá la activación del interruptor de campo.
- Tras alcanzar la velocidad de 3600 RPM, con ayuda del sincronoscopio, se podrá sincronizar la máquina con la red.

#### **2.2.2.10. SISTEMA DE MONITOREO**

Estaciones de operación.

En la actualidad, la unidad 3 posee un sistema de monitoreo con las siguientes características:

- ✓ Comunicación:
  - Dos (2) Switchs, redundantes marca Enterasys A4H123-24TX
- ✓ Estación de ingeniería:
  - Hardware:
    - ❖ Computador HP Compaq 6200 pro micro tower.
      - ❖ Intel core I5 – 2400@ 3,1Ghz
      - ❖ DD 500 GB
      - ❖ 4 GB RAM
      - ❖ Microsoft Windows Xp SP3
    - ❖ 1 pantalla LCD 32”.
  - Software
    - ❖ Licencia Infusion View 9
    - ❖ TriStation 1131.4.9.0
    - ❖ LinTools
- ✓ Estación de operación
  - Hardware:

- ❖ Computador HP Z400 Workstation.
  - ❖ Intel Xeon – 2,67Ghz
  - ❖ DD 500 GB
  - ❖ 4 GB RAM
  - ❖ Microsoft Windows Xp SP3
- ❖ 2 pantallas LCD 20".
- Software
  - ❖ Licencia Infusion View 9
  - ❖ TriStation 1131.4.9.0
  - ❖ LinTools
- ✓ Equipos en la red

En estas estaciones se observan las variables del proceso las cuales son obtenidas y controladas mediante los siguientes equipos:

- Foxboro A2.
- TriGP Invensys.

#### **2.2.2.11. SISTEMA DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES Y TEMPERATURAS**

El turbogenerador cuenta con un sistema de análisis de vibraciones cuyas características de describen a continuación y se muestran en la figura 20.

Sistema Bently Nevada 3500

- Medición de vibración en cojinetes de turbina, generador y excitatriz.
- Medición de temperatura de metal de los cojinetes de turbina, generador y excitatriz.
- Medición de empuje axial.
- Medición de velocidad de turbina.
- Expansión diferencial

#### **2.2.2.12. DESCRIPCIÓN DE LOS INCONVENIENTES ACTUALES**

La turbina de la unidad 3 de la empresa Emgesa S.A. ESP Cartagena se encuentra en funcionamiento bajo un sistema de control e instrumentación de hace más de tres décadas de antigüedad, por esta razón la turbina se ha vuelto poco práctica, en algunos aspectos obsoleta y riesgosa.

Algunos inconvenientes son:

- ✓ Sistema de control basado en sistema oleohidraulico.
- ✓ Tiempos de respuestas más lentos que la tecnología electrónica.
- ✓ Suministro de aceite compartido con el sistema de lubricación
- ✓ Sistema instrumentado de seguridad.
- ✓ Insuficiente, en algunos casos inexistentes.
- ✓ Necesidad de sistemas BMS, F&G, etc.
- ✓ Instrumentación.
- ✓ Insuficiente.
- ✓ Obsoleta.
- ✓ Requieren modificación para la modernización (Actuadores).
- ✓ Otros equipos que requieren modernización y/o actualización.

### **3. ALCANCE**

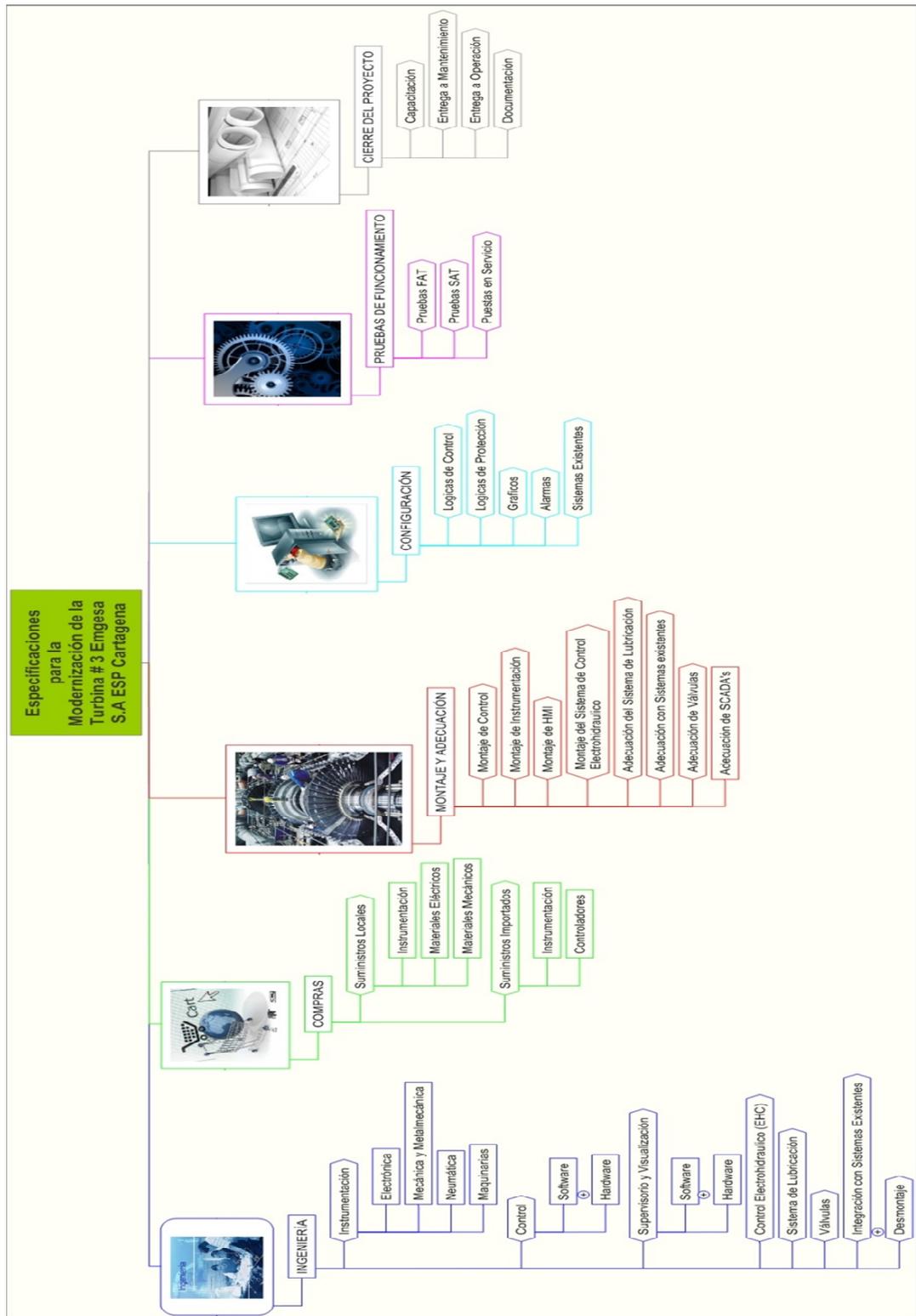
#### **3.1. ALCANCE GENERAL**

El alcance del proyecto es diseñar e implementar el sistema de control de la turbina, de la unidad 3, de la central térmica Cartagena – Emgesa. A continuación se listan los entregables principales del proyecto.

- ✓ Adquirir, configurar e instalar un controlador para la turbina, en reemplazo del sistema actual el cual debe ser desmantelado.
- ✓ Suministrar e instalar un sistema dedicado para la protección por sobrevelocidad para la turbina.
- ✓ Adquirir un sistema de control electro hidráulico para la actuación de las válvulas de turbina. Para esto se debe realizar la independización del sistema actual de aceite de lubricación.
- ✓ Suministrar los elementos requeridos y ejecutar las modificaciones necesarias, a los actuadores de las válvulas de turbina, para que puedan ser actuadas por el sistema de control electrohidráulico.
- ✓ Suministrar y poner en servicio estaciones de operación, donde se encuentren integrados otros sistemas que se encuentran funcionando en la actualidad, como el sistema de medición de vibraciones.
- ✓ Documentar, capacitar y asegurar La correcta operación y mantenimiento del sistema por parte del personal de la central.

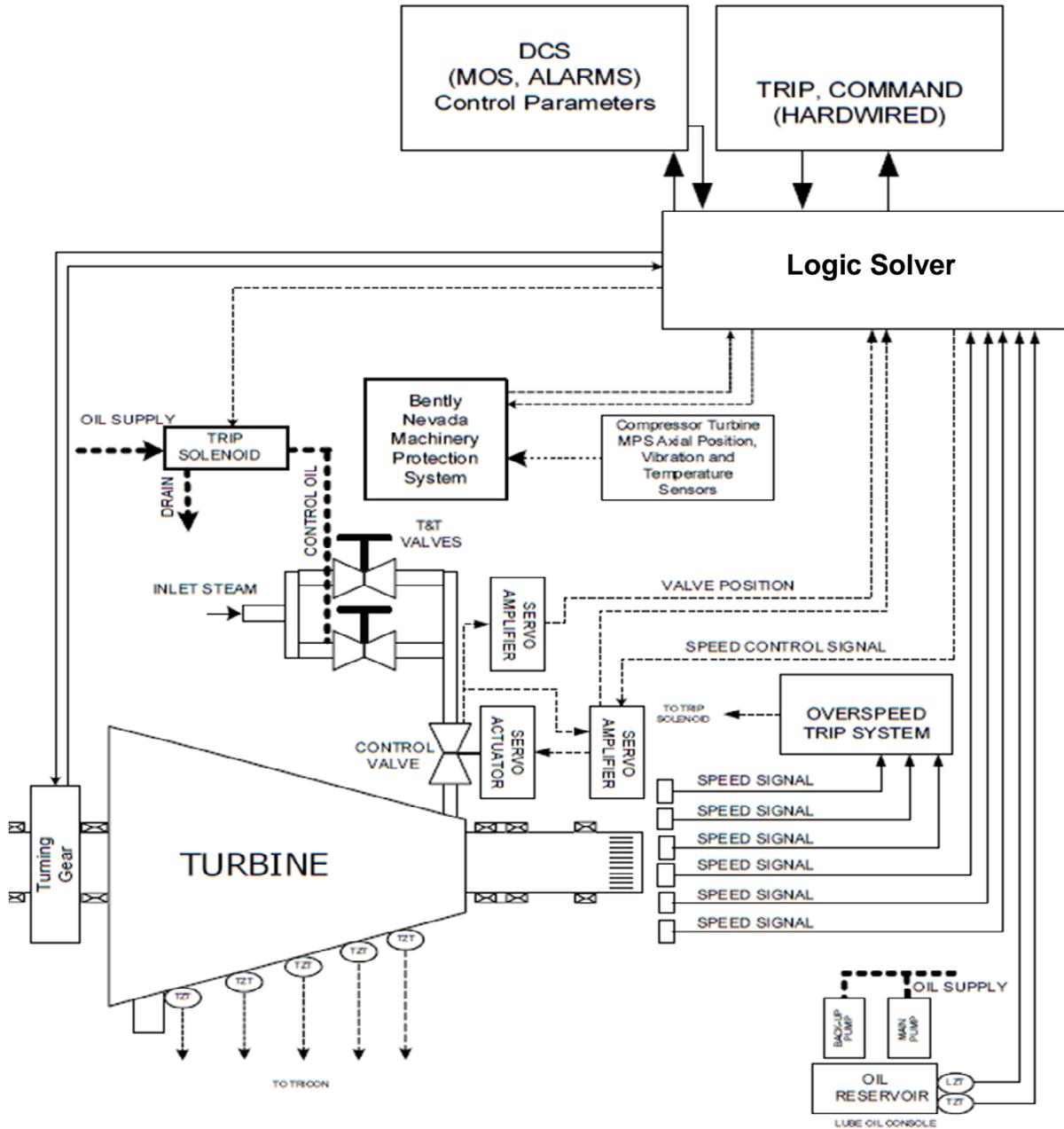
En la figura17, se muestra la estructura de desglose de trabajo o EDT, en la cual se detalla el alcance del proyecto.

Figura 17. Estructura desagregada de trabajo (EDT) del proyecto.



A continuación, en la figura 18, se muestra un esquema general del sistema, que se desea obtener con la el desarrollo del alcance del proyecto.

**Figura 18. Esquema del sistema de control y protección de turbina a suministrar e instalar.**



**Fuente: Invensys Process System – BODD Sistema de control turbina U2 – Emgesa Central Cartagena.**

## **3.2. ALCANCE ESPECÍFICO**

En esta sección se especificarán las características físicas y funcionales que deberán cumplir los equipos a suministrar e instalar, para certificar el correcto y seguro funcionamiento del sistema.

### **3.2.1. SISTEMA DE CONTROL DE TURBINA**

El sistema de control de turbina deberá contemplar en dos controladores independientes el control regulatorio y la protección para sobrevelocidad. El controlador deberá ser una segunda capa de protección pero no la principal.

El regulador de velocidad deberá ser de tipo digital y de uso exclusivo para este tipo de aplicaciones. Debido a que la disponibilidad de la unidad es importante, el regulador de turbina deberá contar con controladores de reserva en caliente, con un control de transferencia sin saltos. Se deberá asegurar que una falla del controlador principal y del respaldo conduzca a la operación manual, apertura, de la turbina y que los módulos defectuosos puedan ser detectados y reemplazados sin limitación alguna, cambio en caliente.

El Sistema deberá tener la capacidad de sincronizarse en forma periódica con un sistema que tiene un horario absoluto, como es el GPS.

#### **3.2.1.1. Sistema de regulación de velocidad**

Las funciones que deberán ser desarrolladas por el regulador serán principalmente las siguientes sin constituir límite:

- ✓ Calentamiento de la cámara de vapor: el regulador de turbina debe realizar automáticamente la secuencia de calentamiento de la cámara de vapor mediante la operación de la palanca de disparo maestro, operación de la palanca de la cámara de válvulas, operación automática de las válvulas de drenaje y bypass hasta minimizar la diferencia entre la temperatura de la superficie interna de la cámara de vapor y la temperatura del vapor de admisión entre 42 y 90 [°C] y con una razón de calentamiento del metal de la superficie interna de la cámara de vapor inferior a 278 [°C]. En caso de que el diferencial de temperatura exceda los 90 [°C], después de 30 minutos habilitará la opción de un permisivo en la estación de ingeniería, con clave, para permitir el arranque con un valor menor a 135 [°C]. Esta acción deberá generar una alarma que registre dicha acción.

- ✓ Arranque de la unidad y regulación de velocidad en vacío para la sincronización del generador con la red, bajo las órdenes de un sincronizador automático y manual.
- ✓ Regulación primaria de frecuencia con un estatismo ajustable de 0 a 10% cuando la unidad trabaja acoplada a una red interconectada.
- ✓ Regulación secundaria.
- ✓ Amortiguación rápida de las oscilaciones de velocidad o de potencia.
- ✓ Marcha en régimen de apertura limitada.
- ✓ Regulación de potencia.
- ✓ Limitación de temperatura y carga.
- ✓ Parada Normal y de emergencia con control.

El sistema de regulación de velocidad deberá permitir, como mínimo, la operación de la unidad bajo cualquiera de las condiciones señaladas.

El regulador deberá cumplir estas funciones bajo las condiciones impuestas por las características de la central y de la red a que estará conectada la unidad.

A la vez, el regulador de velocidad a ser suministrado para la operación de la unidad, deberá disponer de los medios lógicos para efectuar las siguientes regulaciones:

- ✓ Regulación por potencia.
- ✓ Regulación por límite de temperatura.
- ✓ Estatismo.

A su vez, el regulador deberá enviar mediante protocolos de comunicación a un nivel superior lo siguiente:

- ✓ Alarmas.
- ✓ Estados.
- ✓ Medidas (potencia, apertura, presión entrada vapor, presión salida de vapor, etc.).
- ✓ Valores de las consignas actuando.

El regulador de velocidad deberá controlar la turbina con estabilidad a cualquier velocidad entre 60% y 130% de velocidad nominal, y a cualquier carga entre cero y la carga correspondiente a la máxima apertura de los elementos de la turbina.

El sistema regulador de velocidad, deberá ser capaz de controlar, con estabilidad, la velocidad de la turbina cuando es operada a velocidad nominal y sin carga o cuando es operada a velocidad nominal con carga aislada, en todo el rango de potencia, incluso la máxima. El sistema regulador también deberá ser capaz de controlar con estabilidad la potencia cuando la unidad esté funcionando en paralelo con otras unidades en la planta o en un sistema de potencia interconectado.

El sistema de control de regulación de la turbina, deberá incluir las siguientes funciones y capacidades como mínimo:

➤ **Turbina en Modo Automático:**

- ✓ Interface de control de generación automática.
- ✓ Desarrollo demanda de carga de la unidad con límite de carga máximo, mínimo y tasa de límite.
- ✓ Modo control de potencia.
- ✓ Desarrollo y seguimiento de referencia velocidad de turbina.
- ✓ Seguimiento de rango de control de velocidad con turbina fuera de línea.

➤ **Turbina en modo automático o manual:**

- ✓ Modo control de medición de velocidad de turbina con lógica de detección de falla y alarmas por desviación alta, media y baja.
- ✓ Regulación en línea de la velocidad de la turbina.
- ✓ Control de posición de la válvula de detención principal con protección de anulación.
- ✓ Control de posición válvula control principal con protección de anulación.
- ✓ protección de anulación de la válvula detención del vapor recalentado.
- ✓ Control posición de la válvula de intercepción de vapor recalentado con protección de anulación.
- ✓ Transferencia y selección de modo de admisión de vapor.

- ✓ Disparo maestro y de respaldo por lógica de protección por sobre velocidad, incluyendo la capacidad de pruebas de disparo descarga de aceite por sobre velocidad.
- ✓ Lógica de control de protección de sobrevelocidad.
- ✓ Lógica de control de desbalance de carga.
- ✓ Lógica de pruebas para las válvulas de admisión de vapor.
- ✓ Control de posición de las válvulas de vapor con interfase de válvulas servo hidráulicas.

El control de posición, sensores de posición de válvula de gobierno, cableado de comandos, etc. deberá ser redundante, de tal forma que la falla en uno de sus elementos no afecte el desempeño del controlador. En caso de presentarse falla en alguno de los componentes el sistema deberá indicar el elemento en falla para su reemplazo.

El regulador deberá contar con una Interfaz Hombre-Máquina (HMI), la cual será detallada en apartados posteriores, que permita operar la turbina en forma local, visualizar medidas, alarmas y estados del regulador, ya sea por razones de mantenimiento o por falla de comunicaciones desde la sala de control en modo remoto. También, debe permitir al personal de operaciones o mantenimiento, debidamente autorizado, el control, la visualización y modificación de cualquier parámetro interno del regulador. (también se hace referencia a esto en las especificaciones de la interfaz HMI).

Para la sincronización de la unidad generadora deberán estar considerados dos (2) niveles de operación:

- ✓ Sincronización local, desde los armarios de control local. Opciones manual y automático fuera del alcance de este suministro.
- ✓ Sincronización remota, desde el control central remoto a través de las estaciones de operación ubicadas en la sala de control , con acción sobre el interruptor de 115 [kV].

### 3.2.2. REGULACIÓN EN FRECUENCIA

Como se mencionó en el apartado de descripción, la turbina no posee habilitadas las regulaciones primaria y secundaria, lo cual es de obligatorio cumplimiento según las resoluciones de la CREG, 023 del 20 febrero de 2001 y 064 de septiembre 12 del 2000. A continuación y teniendo en cuenta lo anterior, se describirán las funciones que deberá realizar el regulador de velocidad de turbinas con respecto a la regulación en frecuencia:

- ✓ Debe mantener el equilibrio entre generación y demanda, mantener la frecuencia de referencia en el sistema, permita cumplir los compromisos de intercambios de energía con las áreas vecinas.
- ✓ Reserva Rodante, Banda Muerta y Estatismo: Debe estar en capacidad de prestar el servicio de Regulación Primaria de Frecuencia, equivalente al 3% de su generación horaria programada. Para dar cumplimiento a lo anterior, la unidad deben estar habilitada para incrementar o decrementar su generación, incluso cuando sean despachadas con la disponibilidad máxima declarada o en su mínimo técnico, durante los tiempos de actuación definidos por el ente regulador. Se exceptúa, el decremento cuando unidad opere en su mínimo técnico.
- ✓ Los equipos deben emplear una banda muerta de  $\pm 0.03$  Hz que active la regulación primaria de frecuencia al sobrepasarse estos límites.
- ✓ Regulación primaria frecuencia (RPF)
- ✓ Actuación automática de los reguladores de velocidad (sobre las válvulas de admisión de vapor para tratar de modificar la generación en forma rápida absorbiendo los desbalances de potencias provocados por perturbaciones en la red).
- ✓ Acción de control rápida (acción menor a 30 segundos), con característica proporcional.
- ✓ Debe permitir tener disponibilidad de reserva rotante para RPF del 5% para permitir modificar rápidamente la generación.
- ✓ Regulación secundaria de frecuencia (RSF)

- ✓ Actuación manual o automática sobre los variadores de carga de la unidad de generación (llevar nuevamente la maquina a los valores asignados por el despacho)
- ✓ Acción proporcional integral (PI), su acción se establece en 1 o 2 minutos (con AGC, control automático de generación)
- ✓ AGC
- ✓ Participara de la RSF controlando la frecuencia en un valor nominal especificado.

### **3.2.3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA EHC**

El aspirante debe elaborar el diseño donde especifique hardware y software necesarios, proveer de materiales, adecuar instalaciones, montar y poner en servicio un sistema de control electrohidráulico (EHC), de acuerdo a los requerimientos de esta especificación, como mínimo.

El sistema de control electrohidráulico propuesto debe operar dentro de los parámetros operativos especificados por el fabricante de la turbina y Emgesa S.A. ESP Cartagena, la adecuación deberá permitir operar con la calidad con las que se opera actualmente. Adicional a esto deberá indicar el tipo de aceite que deberá usar el nuevo sistema a implementar.

Sus funciones principales serán:

- ✓ Control de velocidad (apertura y cierre de válvulas)
- ✓ Control de carga.
- ✓ Secuencia de arranque.
- ✓ Pruebas de libertad de vástagos,
- ✓ Pruebas de disparos simulados y protección de turbina,
- ✓ Sistema indicador de esfuerzos del rotor RSI y sistema supervisorio de turbina TSI.

Adicional a lo anterior el sistema EHC debe controlar las funciones de:

- ✓ Disparo de emergencia del sistema.
- ✓ Controlar la posición de las válvulas estranguladoras, interceptoras y de gobierno.
- ✓ Realizar el ajuste automático de la posición de las válvulas a través de una señal eléctrica suministrada a las servo válvulas que regulan la presión de aceite a los actuadores.

- ✓ Debe tener su propio supervisorio.

Otras características que debe tener el sistema electrohidráulico de control son:

- ✓ Se deben contar con dos bombas activadas por motor, con igual capacidad, mientras una esté en “operación” la otra debe estar en “espera” y se activara si el nivel del fluido en el sistema alcanza un mínimo establecido. También deben contar con interruptor de encendido y apagado manuales.
- ✓ Debe contar con un interruptor de presión diferencial calibrado a 100psig frente a los filtros para identificar cuando se están llenando de suciedad.
- ✓ Debe contar con un interruptor de presión en la línea de drenaje calibrado a 30psig para determinar si los filtros se están llenando de suciedad.
- ✓ Deberán implementarse 3 contactos para alarmas que indiquen el nivel del fluido del sistema electrohidráulico (alto, bajo y bajo-bajo)
- ✓ El depósito del fluido del EH deberá contar con sensores de nivel para el cierre de la bomba.

#### **3.2.4. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN**

Como se mencionó en el apartado de descripción de la máquina, en la actualidad la unidad 3 cuenta con un sistema de lubricación o alivio de cojinetes, cuyo aceite se usa adicionalmente para el control y actuación de las válvulas de cierre, regulación, sobreproducción, entre otros.

Hace parte del alcance de este proyecto, independizar el sistema de aceite de alivio de cojinetes, del aceite de actuación y regulación de válvulas de turbina. Para lo cual se deberán reutilizar elementos como:

- ✓ Tanque de almacenamiento.
- ✓ Tuberías y colectores principales.
- ✓ Filtros.

Adicionalmente se deberá realizar la desconexión, desmantelamiento y taponamiento de las tuberías actuales usadas para otros fines distintos a la lubricación de cojinetes

Toda la instrumentación concerniente a este sistema y contemplada en el listado de I/O, deberá ser reemplazada. Los rangos de los instrumentos se encuentran en el ANEXO B “Listado de I/O” y deberán ser corroborados en campo por el contratista.

Los equipos como bombas y reguladores deberán ser reemplazados o repotenciados según corresponda.

El único sistema que deberá seguir utilizando el aceite de lubricación será el sistema hidráulico de giro del eje.

### **3.2.5. SISTEMA HIDRÁULICO Y MANUAL DE GIRO DEL EJE**

El sistema hidráulico y manual de giro del eje, el cual es descrito en capítulos anteriores, debe ser comandado por el regulador de velocidad. El aceite para su operación deberá seguir siendo tomado del sistema de aceite de lubricación de cojinetes. Su operación estará sujeta a la velocidad de la máquina, secuencia de operación y estado de las bombas de aceite de lubricación auxiliares. Se deberán suministrar e instalar todos los equipos necesarios para su funcionamiento.

### **3.2.6. SISTEMA DE PROTECCIÓN POR SOBREVELOCIDAD**

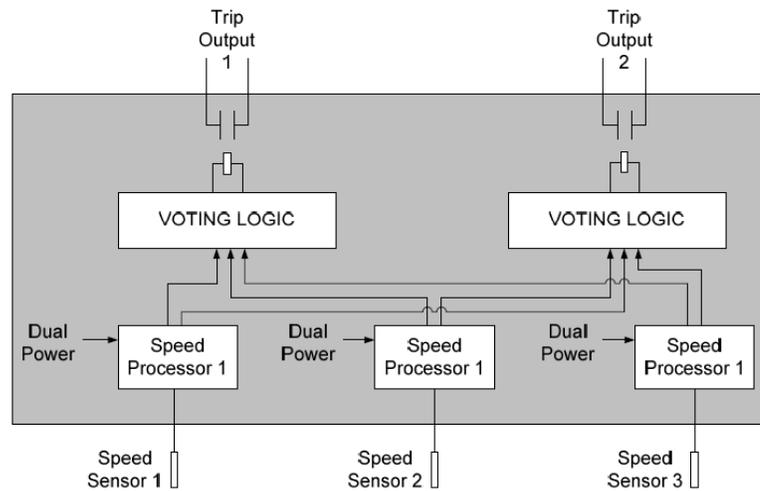
Para el sistema de protección de sobrevelocidad, se deberá proveer un controlador dedicado únicamente a esta función.

A continuación se listarán las principales condiciones con las que debe cumplir el sistema de protección, sin esto representar una limitante.

- ✓ Debe estar configurado para apagar o disparar a la turbina cuando se alcance o supere la velocidad de 3948 RPM (109.66% de la velocidad máxima del gobernador).
- ✓ Debe ser triplemente redundantes: 3 pick ups magnéticos conectados a 3 procesadores de velocidad independientes con disparos independientes (se realizara una votación 2oo3).
- ✓ Debe tener conexión con el controlador principal, para activar la secuencia de apagado.
- ✓ Al momento del disparo no debe entorpecerse con los otros disparos (el controlador principal, el disparador del generador, vibración, etc.)
- ✓ Adicionalmente debe permitir ser utilizado como indicador independiente de velocidad.

La figura 19 muestra un diagrama simplificado de los requerimientos señalados previamente:

**Figura 19. Diagrama simplificado sistema de protección por sobrevelocidad de turbina.**



**Fuente: Invensys Process System –Sistema de protección de sobrevelocidad Emgesa Cartagena.**

### **3.2.7. MONITOREO Y PROTECCIÓN POR VIBRACIONES.**

Como se detalló en el apartado “Descripción del sistema actual”, la máquina cuenta con un sistema de vibraciones el cual, se observa en la figura 20, y proporciona protección de disparo por:

- ✓ Alta vibración en cualquiera de los 5 cojinetes.
- ✓ Excesivo juego en el cojinete de empuje.
- ✓ Expansión diferencial Carcasa-Rotor.
- ✓ Temperatura alta metal de cojinetes.

**Figura 20. Monitor Bently Nevada 3500**



Una salida de disparo por temperatura y una salida que recopila los demás disparos, deberán ser conectados al sistema de control de turbina con el fin de transferir la lógica de secuencia de la máquina al modo de apagado o shutdown, cuando alguno de estos se presente.

### **3.2.8. REGISTRADOR SECUENCIAL DE EVENTOS (SOE)**

Los cambios de estados del registro de eventos mediante I/O de un procesador de control deberán ser recolectados, correlacionados e impresos en orden cronológico con una resolución de un milisegundo.

### **3.2.9. ESPECIFICACIONES DE LA INTERFAZ HOMBRE MAQUINA**

El sistema propuesto deberá ser capaz de controlar, operar y desplegarse independientemente, a través de la configuración HMI suministrada, la operación de una unidad generadora completa a partir de combustible fósil.

El panel de control local, incluyendo el HMI, deberá contar con un selector para elegir entre el modo “Automático” y “Manual” y entre la operación “Local” y “Remota”. En el modo manual deberá ser posible controlar la turbina mediante un limitador de carga. La limitación de carga deberá ser indicada también en la parte frontal del panel de control. Por motivos de seguridad el panel de control local, deberá contener una botonera de parada de emergencia, la cual deberá estar protegida con una tapa de acrílico transparente.

Los códigos de errores y descripciones, deberán ser almacenados y desplegados cronológicamente en despliegues de HMI.

Las alarmas de criticidad normal, deben ser llevadas al DCS(sistema de control distribuido) e integradas al HMI de las estaciones de operación e ingeniería. El numero total de estas se encuentra en el orden de las trescientas.

Despliegues de tendencias HMI.

Los despliegues de tendencias representan valores cambiantes de datos desde bases de datos en tiempo real e histórico.

Las áreas de tendencias en tiempo real deberán estar continuamente actualizando gráficos de tendencias, desplegando los datos variables más recientes de la tendencia.

Las tendencias históricas deberán desplegar datos almacenados desde el DCS Historian por un período de tiempo especificado. El Contratista deberá proporcionar capacidad de detección de tendencias en tiempo real e histórico. Las tendencias podrán ser seleccionadas por el operador a partir de cualquier variable configurada en el sistema.

Se deberá incluir característica de selección y asignación que permita al usuario seleccionar un valor de actualización en la consola y asignarlo a un gráfico de tendencias. Las tendencias deberán:

- ✓ Desplegar como mínimo cuatro variables de proceso independientes.
- ✓ Desplegar un rótulo descriptivo junto a la línea de la tendencia.
- ✓ Mostrar una cantidad variable de datos, en base a la tasa de duración y de escaneo de la tendencia.
- ✓ Tomar uno de dos formatos de presentación: fusionados o agrupados.
- ✓ Ser configurada para desplegar diferentes escalas (mín/máx, máx/decadas, rótulos booleanos).
- ✓ Ser modificada en forma temporal o permanente.

La configuración de tendencias en línea deberá permitir al usuario:

- ✓ Asignar una variable de proceso a un listado de tendencias.
- ✓ Eliminar un "tag" de una tendencia.
- ✓ Cambiar la duración y tasa de actualización de una tendencia.
- ✓ Configurar la presentación de la tendencia (fusionada/agrupada), fuera de las regiones normales, mallas, marcadores, colores, formato del timbre de hora y tipo de datos del "tag".
- ✓ Seleccionar cómo se van a configurar los valores de la escala del "tag".

- ✓ Guardar los cambios de configuración.

Además, se deberá tener acceso al regulador de velocidad mediante un terminal portátil. El suministro deberá incluir el software, licencias y claves necesarias para realizar las funciones que se indican sin restricciones.

### **Interfaz para operación remota**

En lo que respecta la operación remota desde la sala de control, el operador deberá poder ejecutar y visualizar los mismos comandos y alarmas que posea el panel de control local, en un PC dedicado para la operación del regulador de velocidad. El software encargado de la operación del regulador deberá realizar como mínimo las siguientes funciones:

- ✓ Autodiagnóstico de todos los componentes del equipamiento regulador.
- ✓ Ajuste de parámetros internos a través del panel de control y puerto serial.
- ✓ Uso de diferentes parámetros de regulación seleccionables para sincronización y operación.
- ✓ Debe contar con interfaz digital con el nivel superior de supervisión y control.

### **3.2.10. ALARMAS**

La administración de alarmas deberá consistir en una serie de despliegues basados en ventanas que proporcionarán notificación al operador en tiempo real y acceso rápido a todas las alarmas de proceso. Este subsistema siempre deberá estar activado, disponible en todas las consolas de operación y deberá ser accesible en forma rápida, sin considerar la actividad de las otras consolas.

La ventana del despliegue de alarmas presentará mensajes de alarma iniciados por la base de datos del sistema relacionados con entradas digitales, cambios de estado, analógico absoluto, desviación y otras condiciones de alarma. La ventana del despliegue de alarmas deberá proporcionar:

- ✓ Información del estatus y valor de las alarmas actualizado dinámicamente.
- ✓ Indicadores de prioridad y estatus con código de colores que permitirán rápidamente la identificación de las alarmas críticas.

- ✓ Capacidad para configurar la presentación de la alarma mediante secuencia cronológica, prioridad y/o estatus reconocido.
- ✓ Notificación de alarma en cualquier consola de operador.
- ✓ Mensajes de alarma colocados en cola, en base al método de clasificación por defecto o configurable por el usuario.
- ✓ Una función buscar para ayudar a ejecutar el reconocimiento y despejar funciones en conjuntos de alarmas específicos.
- ✓ Una función de filtro correspondencia para aislar un conjunto de alarmas para análisis de problemas.
- ✓ Un modo ver para acceder a una instantánea de la base de datos de alarmas completa.
- ✓ Reconocimiento de alarmas a través de todo el sistema que permita desde cualquier consola reconocer una alarma través del sistema completo.
- ✓ Un listado histórico de alarmas.
- ✓ Utilidades de archivo para guardar los datos de las alarmas en formatos de archivo apropiados para fines de reporte e imprimir los datos de las alarmas desde el despliegue.

#### **Prioridades de alarma:**

El sistema deberá suministrar como mínimo 5 prioridades de alarmas disponibles para ser asignadas a cada punto de la base de datos. La prioridad asignada a un punto de base de datos podrá ser usada para determinar cómo y cuándo se presentará la alarma.

#### **Re-alarma significativa:**

Todas las variables analógicas y calculadas del proceso deberán tener la capacidad de que se les asignen hasta 10 bandas de cambio significativo en términos de unidades de ingeniería, por sobre y debajo de los límites operativos definidos.

Cada vez que esta banda es excedida, el punto deberá estar en re-alarma, lo cual permitirá al operador verificar si el valor presente es peor o mejor.

#### **Corte de Alarma:**

El Oferente deberá suministrar un software que inhiba las alarmas de un punto analógico o discreto basado en una variable booleana sencilla.

Esta función se usará para evitar las alarmas molestas, que de otra forma tendrían lugar cuando el equipo está en estado detenido o por cualquier situación de on/off especificada.

La alarma será restituida cuando la condición deje de existir. Se deberá poder ver en una vista ad hoc, todas las alarmas inhibidas.

### **3.2.11. SOPORTE DE LARGO PLAZO.**

El Oferente deberá asegurar razonablemente que:

- ✓ Los productos ofrecidos no serán retirados de la venta en un periodo de a lo menos 10 años. Por si partes del sistema fueran retiradas de la venta, el fabricante deberá establecer un compromiso a firme, declarando que para sus productos, existe capacidad de reparación o partes equivalentes y/o productos disponibles, por tanto tiempo como el usuario final los necesite.
- ✓ Para obsolescencia en software, el Oferente deberá declarar que estarán disponibles productos funcionalmente equivalentes para respaldar y/o sustituir software por otros mejores. Periódicamente se ofrecerán nuevas versiones de software estándar con fines de mejoramiento.
- ✓ El Oferente deberá declarar su compromiso con el soporte de largo plazo a través de la migración funcional demostrada de su actual DCS, con los actuales sistemas que han operado durante los últimos 10 años.
- ✓ El Oferente deberá definir los niveles de compatibilidad e incompatibilidad del sistema propuesto con versiones previas del sistema, esto es, indicar el nivel de configuración para agregar nuevas estaciones de trabajo a un sistema con 10 años de antigüedad, indicar el nivel de esfuerzo de ingeniería para convertir un controlador tradicional en un controlador actual, etc.
- ✓ Los Oferentes que no muestren niveles adecuados de migración de sistemas no serán considerados, ya que su experiencia demostrable será usada para reflejar su compromiso futuro con las versiones del producto.

Facilidad de expansión.

- ✓ El Oferente deberá describir la filosofía de expansión futura del sistema ofertado, en términos de límites de capacidad y facilidad de implementación.
- ✓ Esta sección deberá incluir los aspectos de expansión de control, monitoreo, interface hombre-máquina (HMI) y estaciones de trabajo, almacenaje de gran capacidad, base de datos de proceso, base de datos histórica, software de aplicación y capacidad de comunicación de acuerdo a los protocolos detallados más adelante.
- ✓ La central dispondrá del personal técnico y operativo que requiera el contratista para las sesiones del análisis Hazop, en los periodos de tiempo que las condiciones operativas de esta lo permitan.

### **3.2.12. MANTENIMIENTO**

Los equipos deberán utilizar construcción estandarizada, modular, enchufable (plug-in) de manera que cualquier tarjeta o sub-componente pueda ser fácilmente removido del sistema y reemplazado.

Los Módulos I/O y el montaje de terminaciones, deberán ser suministrados con capacidad para que un módulo sea removido y reemplazado sin interrumpir o realizar conexiones del I/O de campo.

El número de tipos, clases y categorías de tarjetas en la arquitectura del sistema se mantendrá en un mínimo a objeto de reducir el costo de los repuestos.

Se deberá incluir con la propuesta un listado técnico de los repuestos recomendados y un listado separado de repuestos con precios unitarios. Como mínimo, se deberá proporcionar un procesador y un módulo I/O de cada tipo, con un procesador adicional y módulos I/O por cada 25 de los mismos tipos cotizados.

La recomendación del Contratista deberá estar basada en datos estadísticos, por lo que junto con la lista de repuestos, deberá indicar, de acuerdo con esos datos, la tasa de falla de cada uno de los componentes recomendados.

El sistema deberá ser suministrado con componentes modulares que faciliten su instalación y mantenimiento. Cuando se inserten estos módulos en los gabinetes, se deberán efectuar conexiones de energía redundante y de redes de comunicación redundantes.

Cada módulo estará provisto de un identificador único adherido a su parte frontal, o sobre él. Una vez insertado este módulo en el gabinete, las funciones de aplicaciones específicas ejecutadas por el mismo deberán ser descargadas automáticamente por el sistema en el módulo, sin más intervención humana. Los

módulos deberán poder ser removidos de los gabinetes sin cortar la energía del sistema.

Cada módulo del sistema deberá tener un nivel de inteligencia que ejecute diagnósticos de su operación.

Se deberá proporcionar un diagnóstico completo para que ninguna falla quede sin ser detectada. Ante la falla de un módulo, el operador deberá ser notificado en todas las consolas.

Donde se emplee la capacidad de tolerancia a las fallas, el módulo con esa capacidad deberá asumir la operación del módulo fallado dentro del mismo ciclo de escaneo en que se detecta la falla. Cuando sea reemplazado, el sistema automáticamente deberá ejecutar el diagnóstico y deberá hacer que el módulo reemplazado retorne a plena operación, o bien como un respaldo redundante sin intervención humana de ninguna clase.

Cada módulo deberá contener LED's para la indicación visual de su estado operacional. La ubicación del módulo en falla, el tipo de módulo y su identificador único, deberán estar visibles en un despliegue de la HMI.

El controlador deberá hacer funcionar automáticamente el diagnóstico del sistema. Los códigos de errores y descripciones, deberán ser almacenados y desplegados cronológicamente en despliegues de HMI.

El controlador deberá ser capaz de identificar las deficiencias del componente o sistema y rastrear la cuenta de ocurrencias del error.

### **3.2.13. DOCUMENTACIÓN**

La documentación estándar del Oferente sobre el uso, mantenimiento, configuración, etc. además de ser entregada como libros de texto, residirá al interior del sistema como texto desplegable, con capacidad de ser impreso y además disponible en CD.

Toda la información entregada deberá ser entregada tanto en español como en inglés; deberá ser totalmente legible y explicada al personal correspondiente de la empresa.

Esta documentación deberá estar completa y se desplegará en las propias consolas del operador o en estaciones de ingeniería o computadores personales (Windows NT/XP).

La documentación del proyecto que deberá entregar el Contratista, para la aprobación del Gestor, deberá incluir como mínimo lo siguiente:

- ✓ Documentos de control e instrumentación.
- ✓ Listas de planos y documentos técnicos.
- ✓ Diagrama de arquitectura del sistema de control que incluya un resumen de señales.
- ✓ Diagrama general de la planta.
- ✓ Diagramas de instrumentación y procesos automáticos, ya sean proporcionales, integrales o diferenciales, P&ID.
- ✓ Diagrama de simbología P&ID.
- ✓ Diagramas de lazos de control.
- ✓ Diagramas de interconexiones y minutas de alambrado.
- ✓ Descripción detallada de los procesos y criterios aplicados en el diseño del sistema de control y supervisión DCS, así como de todos los controles locales distribuidos en la central, tanto en lo referido a los mandos, señalizaciones, lazos de control, alarmas y despliegues gráficos utilizados.
- ✓ Descripción detallada, a modo de compilación, de los procedimientos a utilizar para la supervisión y control centralizado del conjunto de sistemas que conforman la planta. Tal documento presupone la existencia de Oferentes distintos a los que proporcionaron los sistemas que conforman la central, de modo que será responsabilidad del Contratista integrar la información por ellos suministrada. Así se logrará que la operación y mantenimiento de la central sea lo más expedita posible. Se deberán incluir en este documento, todas las señales de alarma que sean críticas para la operación y que provoquen desconexión, así como un detalle de los pasos a seguir ante cada eventualidad y las consecuencias que estos provocan.
- ✓ Listas de equipos empleados en la instrumentación de campo (sensores, transmisores, válvulas, etc.).
- ✓ Listas de señales por sistema las que deberán tener al menos los campos: TAG, descripción de la señal, sistema al que pertenece, tarjeta a la que llega la señal, tipo de señal, rango de operación, unidad de medida, indicación de ajustes de alarmas, etc.
- ✓ Hojas de datos de la instrumentación de campo (sensores, transmisores, válvulas, etc.) de acuerdo a estándar ISA TR20.00.01-2001.

- ✓ Disposición de equipos en la sala de mando, y en general, en todas las salas donde se dispongan armarios de control.
- ✓ Diagramas de ubicación de instrumentación en el campo.
- ✓ Diagramas de canalizaciones de cables de instrumentación y control.
- ✓ Diagramas de conexiones neumáticas de instrumentación para válvulas de control, etc.
- ✓ Disposición de la instrumentación en soportes y racks, y detalles de su conexión a proceso.
- ✓ Diagramas y especificaciones técnicas para el diseño de los soportes y racks (gabinetes) en la instrumentación.
- ✓ Listas de equipos empleados en conexión al proceso (manifolds, válvulas, tuberías, etc.).
- ✓ Especificaciones técnicas de los equipos empleados en la conexión al proceso.
- ✓ Disposiciones y lista de equipos ubicados en los armarios de control y medida.
- ✓ Especificaciones técnicas de los equipos ubicados en armarios de control y medida.
- ✓ Listados detallados con los mandos, señalizaciones, alarmas, desconexiones, registros, etc.
- ✓ Esquemas funcionales lógicos del sistema de control y lazos de regulación, incluyendo la configuración del software.
- ✓ Listados base de datos de etiquetas (tag).
- ✓ Listados de tendencias base de datos.
- ✓ Impresiones a color de las presentaciones en pantalla.
- ✓ Documentación del software de desarrollo utilizado, con toda la información técnica correspondiente, licencias y llaves de desarrollo respectivas.

- ✓ Las aplicaciones desarrolladas por el Contratista deberán ser abiertas, es decir, posterior a la puesta en servicio del proyecto, personal de Emgesa tendrá acceso a todos los aplicativos pudiéndolos modificar sin restricciones.
- ✓ Esquemas de conexiones internos de los armarios de control y medida.
- ✓ Esquemas de conexiones remotos entre armarios de control y medida (cables convencionales y preformados).
- ✓ Lista y especificaciones de cables convencionales y preformados.

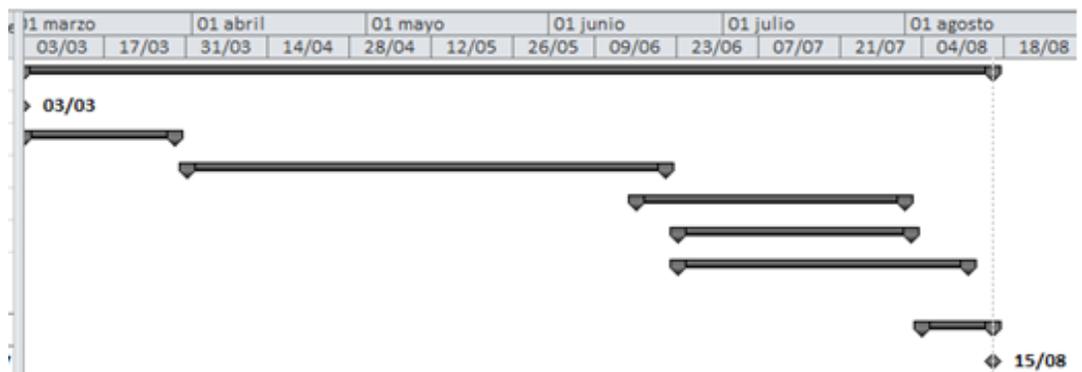
Lo anterior no libera al Contratista de su responsabilidad de entregar toda la información pertinente que a juicio del Gestor sea necesaria, quién podrá exigirla en todo momento del desarrollo del proyecto.

#### 4. GESTION DEL TIEMPO

Posterior a la definición del alcance se continuará hacia la siguiente etapa, la cual consiste en planificar la gestión del tiempo, es decir definir la duración del proyecto y cada una de sus etapas, las cuales pueden requerir ejecución secuencial o simultánea. La figura 21 muestra una vista general del cronograma, el cual se encuentra en el ANEXO C, con las fechas de inicio y fin previstas para las actividades de cada factor.

**Figura 21. Cronograma del proyecto de automatización.**

		Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pre
1		Actualización Sist Control T3	119,88 días	lun 03/03/14	vie 15/08/14	
2		INICIO	0 días	lun 03/03/14	lun 03/03/14	
3		Ingeniería	20 días	lun 03/03/14	vie 28/03/14	
12		Compras	60 días	lun 31/03/14	vie 20/06/14	
15		Montaje y adecuación	33,88 días	lun 16/06/14	jue 31/07/14	
23		Configuraciones	29,88 días	lun 23/06/14	vie 01/08/14	
29		Pruebas de Funcionamiento	35,88 días	lun 23/06/14	lun 11/08/14	
33		Cierre de proyecto	9,88 días	lun 04/08/14	vie 15/08/14	
38		FIN	0 días	vie 15/08/14	vie 15/08/14	37



Con la elaboración del cronograma de trabajo es posible determinar la duración en días de cada etapa de este proyecto, así como la duración total de mismo. Adicionalmente se puede conocer el tiempo que se prevé que la maquina deberá

estar indisponible, el cual es de 45 días aproximadamente. Lo mencionado anteriormente se encuentra condensado en la tabla 2.

**Tabla 2. Tiempo de duración del proyecto total y por etapas.**

<b>Hito</b>	<b>Duración (días)</b>
Ingeniería	20
Compras	60
Montaje - adecuación	34
Configuraciones	30
Pruebas de funcionamiento	36
Cierre del proyecto	10
Tiempo en parada	45
Tiempo total de la modernización	120

## **5. GESTIÓN DE LOS COSTOS**

La estimación de los costos del proyecto se basará en los archivos históricos, los cuales proveen las experiencias de proyectos similares ejecutados en el pasado, y en ofertas de empresas especialistas en turbinas y sistemas de generación.

### **5.1. Estimación de los costos de implementación:**

#### **5.1.1. Trabajos de Ingeniería y documentación: \$100.000 USD**

Este ítem contempla los siguientes conceptos de:

- Ingeniería de construcción, partiendo desde la básica hasta los detalle de montaje. Este concepto incluirá planos isométricos, P&ID, diagramas eléctricos, diagramas de lazo, AS Built, entre otros.
- Documentación final del proyecto incluyendo manuales de sistemas y equipos, informes, entre otros.

#### **5.1.2. Suministro de Hardware: \$1.200.000 USD**

##### **5.1.2.1. Costo instrumentación según listado de I/O: \$ 60.000 USD**

- ✓ Transmisores presión, temperatura, flujo
- ✓ Presostatos
- ✓ Sensores de velocidad
- ✓ Otros

##### **5.1.2.2. Suministro de Hardware de control:**

- ✓ El controlador de turbina deberá ser un equipo especializado para este fin. Deberá ser triplemente redundante y tener un nivel de integridad SIL3. En el apartado de alcance se detallan los requerimientos del equipo. Su costo estimado es \$350.000 USD.
- ✓ Se deberá suministrar un equipo destinado únicamente a la protección por sobrevelocidad el cual deberá cumplir con todo lo plasmado en las especificaciones técnicas. El costo aproximado de este equipo es \$300. 000 USD.

5.1.2.3. Suministro de sistema de control electrohidráulico EHC el cual consiste en:

- ✓ Suministro de tanque almacenamiento aceite.
- ✓ Suministro de servo válvulas moog según especificaciones técnicas.
- ✓ Material eléctrico, tuberías, cableado, cajas de conexión.
- ✓ Tuberías, estructuras metalmecánicas, entre otros.
- ✓ Consumibles.

El costo del suministro del sistema es \$100.000USD

5.1.2.4. Suministro de partes para modernización válvulas de turbina: \$ 160.000 USD

5.1.2.5. Independización y repotenciación del sistema de aceite lubricación: \$ 90.000 USD.

- ✓ Adquisición de nuevas bombas
- ✓ Adecuación o cambio de filtros
- ✓ Reemplazo de reguladores
- ✓ Cambio de tuberías.

5.1.2.6. Suministros materiales para tendidos de cableado, estructuras metalmecánicas, adecuaciones y otros: \$ 90.000 USD.

5.1.2.7. Suministro de equipos para las estaciones de operaciones e interfaces hombre máquina en campo. \$ 50.000 USD.

### **5.1.3. Suministro de software: \$ 50.000 USD**

Este monto cubrirá todas las licencias para configuración de controladores, interface gráficas, bases de datos, registradores de eventos, entre otros.

### **5.1.4. Instalación y configuraciones: \$ 400.000 USD**

- ✓ Instalación de gabinetes y puesta en servicio del sistema de control de turbina.
- ✓ Instalación y puesta en servicio del sistema de protección por sobrevelocidad.
- ✓ Instalación y puesta en servicio del sistema de aceite EH.
- ✓ Entre otros.

### **5.1.5. Capacitación y documentación: \$ 100.000 USD**

Se deberán cubrir capacitaciones y documentación final del proyecto según lo detallado en las especificaciones técnicas.

**De acuerdo a lo anterior, el costo total de la implementación del proyecto es: \$1.850.000 USD.**

### **5.2. Costo de operación y mantenimiento**

**Los costos estimados para operación y mantenimiento anual de la planta: \$ 1.280.000 USD**

### **5.3. Estimación del costo del tiempo de paro del equipo durante la intervención**

Para este cálculo se deberá tener en cuenta el valor por día que dejará de percibir la central por cargo de confiabilidad, el cual es una estimación que varía anualmente y para el año 2013 es del orden de los \$20.000 USD. Por otra parte la máquina solo podrá estar indisponible por un tiempo máximo de 45 días. Teniendo en cuenta esta información, el costo por el paro de la máquina durante la modernización del sistema de control es \$900.000 USD.

### **5.4. Estimación de los beneficios esperados**

A continuación se describirán los beneficios, los cuales están orientados a disminuir las pérdidas anuales promedio por indisponibilidad y fallas durante la operación; además de las posibles pérdidas que se podrían generar por indisponibilidad prolongas y/o catástrofes por el estado de la máquina.

#### **Beneficios esperados**

- ✓ Durante el año 2013 se han presentado 5 disparos o arranques fallidos reflejados en el incumplimiento en las solicitudes de operación, requeridas por el centro nacional de despacho. El costo aproximado por estos eventos está relacionado con las horas que requiere la máquina para volver a entrar en servicio. Además se deberá cubrir el costo de la energía que no se entrega al sistema en este periodo de tiempo. El costo total de estos eventos, durante el año 2013, se encuentra alrededor de USD300.000. Con el proyecto se busca llevar a cero estos eventos indeseados.

- ✓ Con la actualización, se busca eliminar el riesgo de una indisponibilidad prolongada de la unidad, cuya proyección para el año 2013 es de USD 20.000 por día; esto sumado a que por regulación, se deberá devolver el dinero percibido, por cargo de disponibilidad, desde la última operación a plena carga, hasta la fecha de reposición de la operatividad de la máquina. Por tanto una indisponibilidad de 30 días generaría que la compañía deje de recibir USD 600.000, asumiendo que la unidad operará por última vez, a plena carga, 20 días antes de iniciar la indisponibilidad prolongada, el dinero a regresar por incumplimiento de reglamentación, sería USD 400.000. En total la empresa perdería USD 1.000.000.
- ✓ El proyecto permite aumentar la seguridad de los equipos y personas y evitar siniestros. En la actualidad el sistema de prueba para la protección de sobre velocidad de turbina, se encuentra fuera de servicio por obsolescencia. Existe un disparo electrónico implementado por personal propio de la central, como una segunda capa de protección, pero con dispositivos que no cumplen con las características de seguridad y confiabilidad para realizar esta función. En caso de un aumento súbito e incontrolable de la velocidad de la máquina, existe alta probabilidad de desprendimiento de alabes o destrucción completa del rotor, el cual a 3600 rpm afectaría a equipos y personas a su alrededor, como el generador, que se encuentra lleno de hidrogeno y los operadores que están ubicados en la sala de control a menos de 10 metros del turbogruppo. Las pérdidas en un siniestro de esta magnitud sería superior a los 30 millones de USD. La implementación asegura los mecanismos para que el riesgo de materialización de estos posibles eventos tienda a cero.

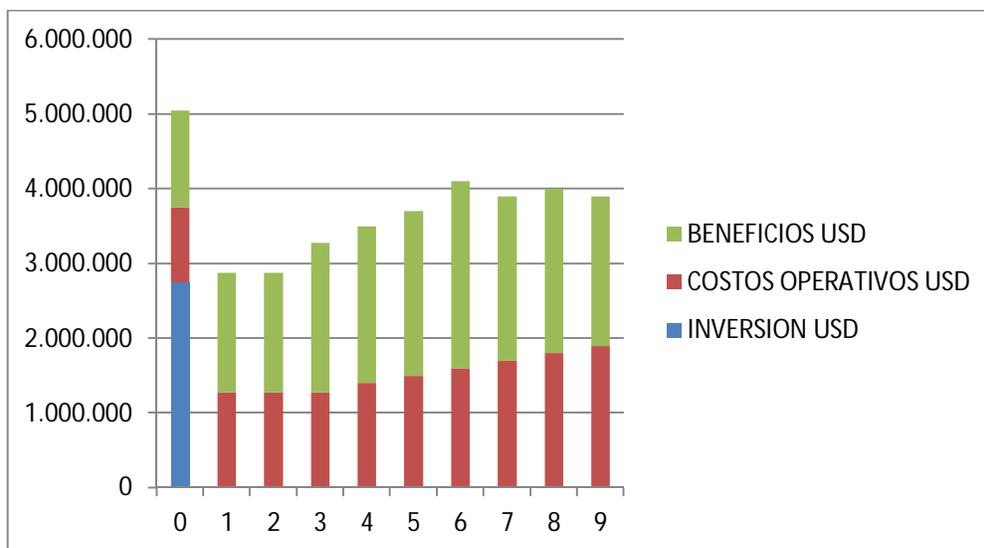
## **5.5. Distribución de los costos y beneficios**

La tabla 3 y la figura 22 muestran una proyección estimada de los costos y los beneficios esperados del proyecto,

**Tabla 3. Estimación anual, por periodo de 10 años, de costos y beneficios asociados al proyecto**

<b>AÑO</b>	<b>Inversión USD</b>	<b>Costos operativos USD</b>	<b>Beneficios USD</b>
<b>0</b>	2.750.000	1.000.000	1.300.000
<b>1</b>	0	1.280.000	1.600.000
<b>2</b>	0	1.280.000	1.600.000
<b>3</b>	0	1.280.000	2.000.000
<b>4</b>	0	1.400.000	2.100.000
<b>5</b>	0	1.500.000	2.200.000
<b>6</b>	0	1.600.000	2.500.000
<b>7</b>	0	1.700.000	2.200.000
<b>8</b>	0	1.800.000	2.200.000
<b>9</b>	0	1.900.000	2.000.000
<b>Totales</b>	2.750.000	17.490.000	19.700.000

**Figura 22. Gráfico de distribución de costos y beneficios**



## 5.6. Análisis de factibilidad del proyecto

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 1, fueron calculados los indicadores económicos del proyecto, los cuales se presentan a continuación, al igual que su análisis.

✓ **Retorno a la inversión (ROI): 112,67%.**

La relación costo beneficio de este proyecto es positiva por lo cual es una buena inversión.

✓ **Valor presente neto (VPN): \$ 78,498USD – Tasa estimada anual 14%.**

- El proyecto maximiza la inversión de la compañía y cumple con su objetivo principal que es asegurar la continuidad de la operación y ganancias de la compañía.
- En la evaluación de la tasa, se encuentra que el proyecto es más rentable con porcentajes entre 5% y 10%.

✓ **Tasa interna de retorno: 15%**

La tasa de retorno es mayor a la tasa de descuento estimada por lo que la inversión es un buen negocio.

De acuerdo a los resultados de los indicadores calculados previamente, el proyecto para la actualización del sistema de control, de la turbina 3, es económicamente **FACTIBLE**.

## **6. GESTION DE LA CALIDAD**

En este apartado se definirán las herramientas que deberán ser utilizadas para asegurar el cumplimiento de la calidad del proyecto.

Es política de la empresa, que los proyectos con costo mayor a \$ 100.000.000, cuenten con un plan de calidad diseñado por la empresa contratista. Este deberá ser revisado y aprobado por el gestor del contrato.

El gestor designado por parte de Emgesa, deberá por su parte elaborar un documento para control del contratista, el cual deberá contener las herramientas con las cuales se velará que el proyecto se cumpla con la calidad requerida.

Para estos fines Emgesa dispone, entre sus activos procesos, formatos normalizados; sin embargo para el plan de calidad la empresa colaboradora podrá usar un formato propio si lo posee.

Por último, para asegurar el correcto cumplimiento de lo contratado, el tercero deberá firmar pólizas para distintos fines uno de ellos, es el aseguramiento de la calidad.

## 7. GESTIÓN DE LOS RIESGOS

La compra, ejecución, puesta en servicio de los sistemas y en general todas las actividades del sistema poseen cierto nivel de riesgo de no poder ser completadas. A continuación, en la tabla 4 se presenta una matriz en la que se prevén algunos de estos, la severidad de su materialización y la acción a ser tomada para su mitigación.

**Tabla 4. Matriz de riesgos del proyecto.**

<b>RIESGO</b>	<b>PROB</b>	<b>CONSEC</b>	<b>ACCION PREVENTIVA</b>
Retraso en la entrega de equipos de importación.	M	B	Se contempla 1 semana adicional al tiempo estimado de entrega de equipos.
Empresa contratista declara bancarrota o incumple el contrato sin justificación	B	A	Se firmaran pólizas de cumplimiento a favor de Emgesa. Por la envergadura del contrato solo se aceptaran firmas con 20 años en el mercado y demuestren solides económica.
Cambios de tecnología durante la ejecución del proyecto.	M	M	La empresa contratista deberá asegurar por 10 años la disponibilidad de repuestos y soporte técnico para los equipos suministrados.
Aumento del tiempo de paro requerido para la puesta en servicio de la máquina.	M	M	Se incluyen 5 días adicionales a manera preventiva para mitigar el riesgo de incumplir e incurrir en sanciones.
Bloqueos o manifestaciones que impidan el acceso del personal técnico o equipos a la central.	B	A	La empresa cuenta con un muelle propio, por el cual podrán ingresar los equipos o personas. Para el ingreso de las personas la empresa posee bote; el transporte de los equipos por vía marítima, correrá por cuenta del contratista.
	<b>B: Bajo</b>	<b>M: Medio</b>	<b>A: alto</b>

## **8. GESTION DE LAS ADQUISICIONES**

### **Estrategia de contratación y compras**

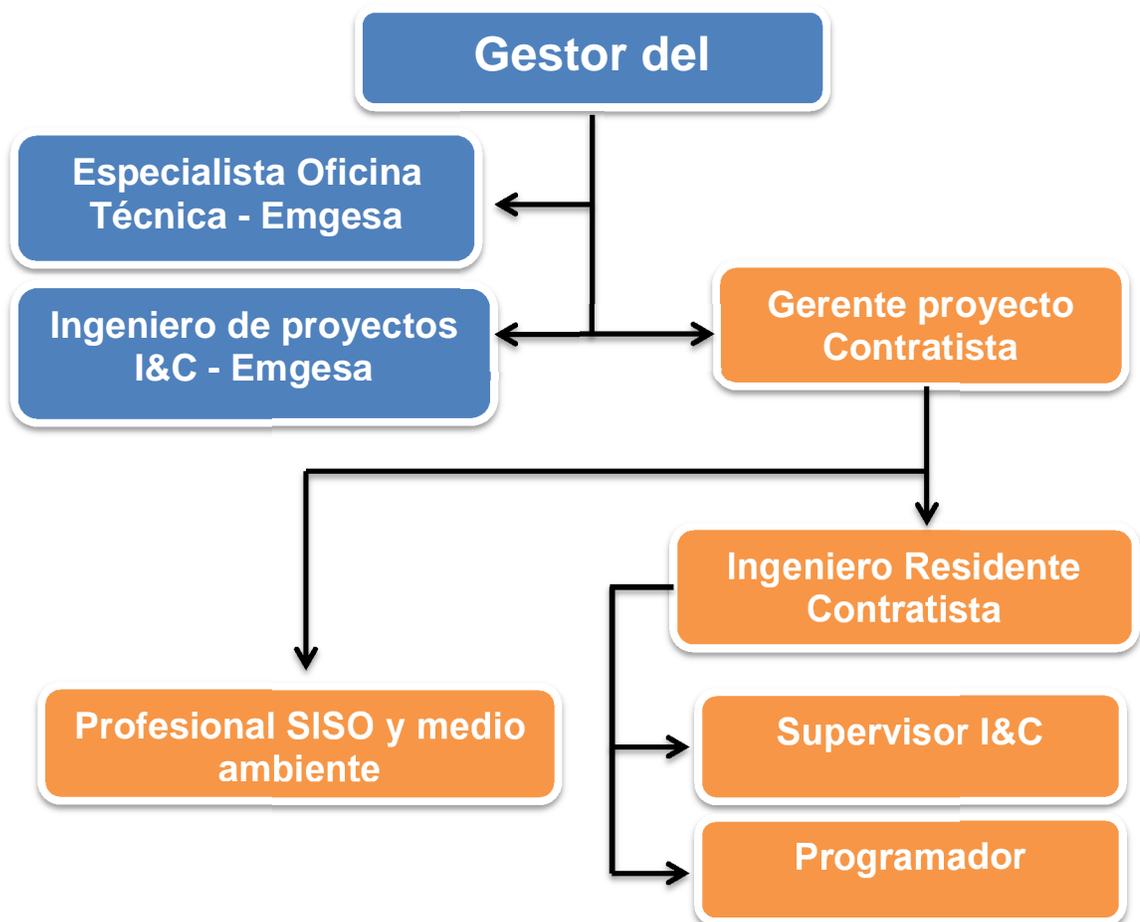
Por política de la compañía la contratación del proyecto será del tipo suma global fija (slump-Sum). Para participar en el proceso licitatorio se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ El alcance de los trabajos se detallará en el documento Especificaciones técnicas.
- ✓ El monto a contratar será fijo y cubrirá todos los ítems declarados en las especificaciones técnicas.
- ✓ Para la presentación de ofertas, es de carácter obligatorio la asistencia a la visita de obra, en la cual se detallará y aclarará la información requerida, por las empresas colaboradoras, para la elaboración de su oferta.
- ✓ La compañía exigirá la firma de pólizas por incumplimiento, calidad de trabajos y daños a instalaciones propias o de terceros.
- ✓ Los pagos podrán ser parciales y por avance de obra según criterio del gestor del contrato, quien deberá reportar conformidad por el porcentaje de obra a ser pagado.
- ✓ Los pagos son realizados 30 días después de ser presentada la factura. La fecha máxima para presentación de facturas es el día 15 de cada mes, de ser día feriado, se extenderá el plazo hasta el siguiente día hábil del mes.

## 9. GESTION DEL RECURSO HUMANO

Para la ejecución del proyecto se requerirá personal calificado y con perfiles específicos por parte de Emgesa y del personal del contratista. A continuación, en la figura 23, se presenta el organigrama con el recurso mínimo requerido para la ejecución del proyecto.

**Figura 233. Organigrama del recurso humano requerido. En azul el personal de Emgesa y en naranja el personal contratista.**



### 9.1. Perfiles del personal del contratista

El oferente deberá entregar las hojas de vida del personal que hará parte del proyecto, para el estudio por parte de Emgesa y su posterior aprobación. A continuación los perfiles requeridos:

- El perfil para los ingenieros líder deberá ser:
  - ✓ Profesionales en Ingeniería Eléctrica o electrónico. De acuerdo a lo trabajos a realizar.
  - ✓ Matricula profesional.
  - ✓ Experiencia de 5 años demostrada en trabajos similares.
  - ✓ Conocimiento y experiencia en los equipos Triconex.
  - ✓ Conocimiento y experiencia en instrumentación inteligente.
  - ✓ Experiencia en manejo de proyectos (Recursos, planificación, normas ambientales y seguridad industrial).
  - ✓ Curso de seguridad industrial, salud ocupación y medio Ambiente.
  - ✓ Manejo de MS Project y autocad.
  
- El perfil para los ingenieros especialista en sintonización deberá ser:
  - ✓ Profesionales en Ingeniería Eléctrica o electrónico. De acuerdo a lo trabajos a realizar.
  - ✓ Matricula profesional.
  - ✓ Experiencia de 10 años demostrada en trabajos similares para caldera de capacidad mayor a 200T/h.
  - ✓ Curso de seguridad industrial, salud ocupación y medio Ambiente.
  - ✓ Manejo de MS Project
  
- El perfil para los ingenieros de configuración deberá ser:
  - ✓ Profesionales en Ingeniería Eléctrica o electrónico. De acuerdo a lo trabajos a realizar.
  - ✓ Matricula profesional.
  - ✓ Experiencia de 3 años demostrada en trabajos similares.
  - ✓ Conocimiento y experiencia en los equipos I/A Foxboro y Triconex.
  - ✓ Curso de seguridad industrial, salud ocupación y medio Ambiente.
  
- El perfil del profesional de HSE deberá ser:
  - ✓ Profesional en seguridad industrial, salud ocupacional, ingeniería industrial y carreras afines.
  - ✓ Tener certificado en seguridad industrial y salud ocupacional, curso de trabajo en alturas y en caliente.
  - ✓ 3 años de experiencia certificable en proyectos envergadura similar.

- ✓ Ser aprobado por el área de prevención de riesgos de la compañía.

## 9.2. Matriz de Roles y responsabilidades

A continuación en la tabla 5, se presentará la matriz de roles y responsabilidades del personal del proyecto:

**Tabla 5. Matriz de roles y responsabilidades para el proyecto**

	Gestor del proyecto	Ing. de Proyectos I&C	Especialista. Oficina Técnica	Gerente proyecto contratista	Ingeniero Residente
Especificaciones técnicas.	A	E	R	I	I
Planos y manuales	A	R	R	R	E
Montaje	A	R	R	R	E
Puesta en servicio	P	P	P	I	E
Pruebas	P	P	P	P	P

**E:** Ejecuta.    **P:** Participa    **R:** Revisa    **I:** Informan.    **A:** Aprueba.

## **10. GESTION DE LAS COMUNICACIONES**

A continuación se presentarán los canales de comunicación a ser usados en el proyecto.

### **Canales de comunicación:**

La información del proyecto se comunicará por medio de los siguientes medios:

- ✓ Correo electrónico: Este medio se usará solo para coordinar reuniones, enviar información correspondiente a soportes de seguridad social, perfiles laborales del personal, entre otros. La documentación del proyecto, desde la ingeniería para construir hasta el informe final, Se deberá entregar únicamente en medio físico.
- ✓ Reuniones: semanalmente se deberán realizar reuniones de seguimiento, donde se deberá entregar de forma física, los informes de avance y HSE. Se expondrán los retrasos en la ejecución y las medidas a tomar. Se expondrán y decidirán los posibles cambios en alcance que afecten los costos o duración del proyecto. Se podrán realizar reuniones coordinadas adicionales a las de seguimiento.
- ✓ Llamadas telefónicas: se utilizará este medio, al igual que el correo electrónico, para coordinar reuniones.

## **CUMPLIMIENTO DE NORMATIVIDAD**

- ANSI/ASME PTC 20.1 – 1977 – Speed and Load Governing Systems for Steam Turbine-Generator Units.
- IEEE Std. 122-1991 – IEEE Recommended Practice for Functional and Performance Characteristics of Control Systems for Steam Turbine-Generator Units.
- API std. 670 - Four edition, December 2000 – Machinery Protection Systems.
- API std. 612 - Special-Purpose Steam Turbines for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services.
- IEC 615011 – Functional Safety: Safety instrumented Systems for the process industry sector.
- IEC 61508 - Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-related Systems.

## BIBLIOGRAFÍA

Descripción General – Manual turbo grupo – Kraftwerk Union- 1980 - pág. 1.1-0200/1

Protecciones sobre velocidad – Manual turbo grupo – Kraftwerk Union- 1980 - pág. 1.1-2120/1

Dispositivo hidráulico de alivio de los cojinetes – Manual turbo grupo – Kraftwerk Union- 1980 - pág. 1.1-1630/1

CREG resolución 023 Febrero 20 2001 - Por la cual se modifican y adicionan las disposiciones contenidas en la Resolución CREG-025 de 1995, aplicables al servicio de Regulación Primaria de Frecuencia.

CREG resolución 064 septiembre 2012 - Por la cual se establecen las reglas comerciales aplicables al Servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia, como parte del Reglamento de Operación del SIN.

Integración de un PID al control con PLC de las servo-válvulas que regulan las válvulas de control de una turbina de vapor, Oswaldo Martínez de Jesús, Uziel Olloqui Carmona, Carlos Villanueva Hernández, instituto politécnico nacional, escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica, México D.F., marzo 2010.

Controlador del generador de la turbina de la unidad 2 Emgesa S.A. E.S.P, Invensys Colombia, Cartagena Colombia, noviembre 2007.

Análisis de un control automático de generación para el sing, JUAN PABLO ROJAS CURI, Santiago de Chile, abril 2006, regulación de frecuencia secundaria

Análisis de un control automático de generación para el sing, JUAN PABLO ROJAS CURI, Santiago de Chile abril 2006, regulación terciaria de frecuencia

Autores adjuntos a la organización Wikipedia, “excitatriz”, soporte en línea, <http://www.atmosferis.com/excitatriz-sistemas-de-excitacion/>

Autores adjuntos a la organización Scribd, “sincronoscopio”, soporte en línea, <http://es.scribd.com/doc/93355334/66570631-Sincronoscopio>

Autores adjuntos a la organización Wordreference, “radial”, soporte en línea, <http://www.wordreference.com/definicion/radial>

Autores adjuntos a la organización Wordreference, “axial”, soporte en línea, <http://www.wordreference.com/definicion/axial>

Consejo nacional de operación, acuerdo no. 202 de diciembre del 2001, "banda muerta", soporte en línea, <http://www.cno.org.co/webApp/pressflow/content/acuerdo-202>

Consejo nacional de operación, acuerdo no. 202 de diciembre del 2001, "estatismo", soporte en línea, <http://www.cno.org.co/webApp/pressflow/content/acuerdo-202>

Consejo nacional de operación, acuerdo no. 202 de diciembre del 2001, "regulación primaria de frecuencia", soporte en línea, <http://www.cno.org.co/webApp/pressflow/content/acuerdo-202>