

Diseño de un sistema para la automatización de la preservación humedad de una caldera de recuperación de calor para la planta termoeléctrica prime Termovalle

Iseth Ortega V.
Mauricio Quintero B.

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia - UNAD
Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería - ECBTI
Programa En Automatización Electrónica
Cali/Palmira
2022

Diseño de un sistema para la automatización de la preservación humedad de una caldera de recuperación de calor para la planta termoeléctrica prime Termovalle

Iseth Ortega V.

Mauricio Quintero B.

Presentación De Proyecto Aplicado Para Optar Al Título De Tecnología En
Automatización Electrónica.

Director

Steven Bedoya Yutres

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia - UNAD
Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería - ECBTI
Programa En Automatización Electrónica
Cali/Palmira
2022

Resumen

Prime Termovalle S.A.S es una planta de generación de energía eléctrica, la cual está conformada con configuración ciclo combinado 1*1 donde sus activos para el proceso de generación están compuestos por turbina de gas (Westinghouse W501 F Econopac, un Recuperador de calor HRSG¹ y una turbina de vapor (ST-Westinghouse) que entró en servicio ante el sistema nacional de interconectado² en el año 1998 con una capacidad efectiva de 202 MW. La planta es una de las térmicas de la región que fueron instaladas para respaldar la entrega de energía eléctrica en momentos coyunturales, como lo son los fenómenos del niño que corresponden a largos periodos de sequía, cuando la generación de energía con plantas hidroeléctricas es insuficiente para abastecer de forma estable la demanda eléctrica de los colombianos. Lo anterior resulta en que la operación de la planta ante el sistema no es constante (operación cíclica). Recientemente, en el año 2019, la planta realizó un proyecto de repotenciación, aumentando su capacidad efectiva a 241 MW ante el Sistema Interconectado Nacional.

Una operación cíclica tiene como consecuencia que la tubería de producción de vapor del HRSG no presente las condiciones de trabajo ideal de diseño en todo momento, las cuales son con vapor en su interior. Para asegurar la confiabilidad del equipo se debe realizar un proceso conocido como preservación húmeda, el cual consiste en mantener las condiciones fisicoquímicas del agua para evitar fenómenos de corrosión del equipo. Actualmente el proceso se realiza de manera manual y se está llevando a cabo con una bomba neumática bajo la

¹ HRSG: heat recovery steam generator. (power, 2022)

² sistema nacional de interconectado: modelo integrador que hace posible el funcionamiento del sector eléctrico colombiano. (twenergy, 2019)

supervisión de un operador de campo, el cual genera una problemática debida que el operador no está dedicado sólo a esta labor y están sometidos a un riesgo por manipulación de químicos.

El presente trabajo de grado tiene como propósito diseñar una solución óptima a la problemática presentada en Prime Termovale SAS; por ese motivo se propuso realizar un diseño para automatizar el sistema de preservación húmeda del HRSG

Palabras claves

Hrsg, caldera, recirculación, sistema interconectado, dcs, ovation.

Abstract

Prime Termovalle SAS is an electric power generation plant, which is made up of a 1*1 combined cycle configuration where its assets for the generation process are made up of a gas turbine (Westinghouse W501 F Econopac, a HRSG heat recovery unit and a steam turbine (ST-Westinghouse) that entered into service with the national grid in 1998 with an effective capacity of 202 MW. The plant is one of the thermal plants in the region that were installed to support the delivery of electricity in conjunctural moments, such as the El Niño phenomena that correspond to long periods of drought, when the generation of energy with hydroelectric plants is insufficient to supply the electricity demand of Colombians in a stable manner. The plant before the system is not constant (cyclic operation). Recently, in 2019, the plant carried out a repowering project, increasing its effective capacity to 241 MW before the National Interconnected System.

A cyclical operation has the consequence that the HRSG steam production pipe does not present the ideal design working conditions at all times, which are with steam inside. To ensure the reliability of the equipment, a process known as wet preservation must be carried out, which consists of maintaining the physicochemical conditions of the water to avoid corrosion phenomena of the equipment. Currently the process is carried out manually and is being carried out with a pneumatic pump under the supervision of a field operator, which generates a problem due to the fact that the operator is not dedicated solely to this work, and they are subject to a risk due to chemical handling.

The purpose of this degree work is to design an optimal solution to the problem presented in Prime Termovalle SAS; For this reason, it was proposed to carry out a design to automate the wet preservation system of the HRSG.

Keywords

Hrsg, boiler, recirculation, interconnected system, dcs, ovation.

Contenido

Listado de Tablas	10
Listado de Figuras	11
Anexos	13
Introducción	14
Título del trabajo de grado	15
Planteamiento del problema.....	16
Antecedentes	18
Justificación	20
Objetivos	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos	21
Alcances y limitaciones del proyecto	22
Marcos de referencia.....	24
Marco teórico conceptual.....	24
HRSG.....	24
Preservación húmeda	24
Recirculación del HRSG.....	24
Marco legal o normativo.....	28
Marco tecnológico	28
Sistemas de control y monitoreo de señales	28
Tarjetas de Entradas/Salidas	29
DROP200-Servidor de base de datos y controlador del dominio	29
Servidor de base de datos.....	30
Red Ovation	30
Marco contextual	31
Metodología	33
Enfoque y tipo de la investigación.....	33
Identificación de las líneas y sub-líneas de investigación del programa	33

Población y muestra.....	33
Población.....	33
Muestra	33
Variable para considerar	34
Diseño de producto	35
Descripción del proceso	35
Diagrama de flujo del proceso	37
Ficha técnica del producto o servicio.....	38
Instrumentación implementada en el diseño.....	39
Sondas de pH y transmisor	39
Indicadores de conductividad catiónica	40
Bomba de desplazamiento positivo	41
Bomba para dosificar el químico al HRSG.....	41
Materiales y herramientas involucrados en el diseño	42
Descripción del ambiente que se requiere para la materialización del proyecto	43
Planos y gráficas del prototipo.....	43
Análisis de señales obtenidas para su automatización.....	45
Minimización de los riesgos durante la manipulación de químicos en la operación de dosificación a la caldera.....	54
Control químico en la preservación húmeda del HRSG.....	57
Talento humano, descripción de perfiles	65
Cronograma de actividades.....	67
Recursos y presupuesto.....	68
Conclusiones.....	69
Bibliografía	71
Anexos	73

Lista de Tablas

Tabla 1 ASME Guidelines for Water Quality in Modern Industrial Water Tube Boilers	26
Tabla 2 Recolección de datos preservación húmeda.	34
Tabla 3 Roles y Responsabilidades de los actores del proyecto (Fuente elaboración propia).....	65
Tabla 4 Cronograma de actividades (Fuente elaboración propia)	67
Tabla 5 Recursos y presupuesto (Fuente elaboración propia)	68

Lista de Figuras

Figura 1 Arquitectura de comunicación DCS Ovation.....	30
Figura 2 Diagrama del proceso de automatización.....	37
Figura 3 Sonda de pH	40
Figura 4 Transmisor de pH.....	40
Figura 5 Indicador de conductividad	40
Figura 6 bombas de desplazamiento positivo	41
Figura 7 Bomba dosificación de químicos	41
Figura 8 típico de montaje de una bomba de inyección de químicos	44
Figura 9 Modelo de instalación de bombas de desplazamiento positivo para inyección de químicos.....	44
Figura 10 Diseño del sistema de recirculación HRSG.	45
Figura 11 Control Builder para crear logicas de control en ambiente windows.....	46
Figura 12 Algoritmo de control Keyboard	47
Figura 13 Entradas y salidas digitales.....	47
Figura 14 Lógica de control para arranque de la bomba de recirculación del agua en el HRSG	48
Figura 15 PID.....	48
Figura 16 algoritmo de control 2XSEL	49
Figura 17 Lógica para la simulación del proceso de operación de los indicadores de PH y conductividad.....	49
Figura 18 Lógica de control de nivel del tanque	50
Figura 19 Dirección IP de los controladores Device net para la comunicación.	51
Figura 20 Lógica de control ya cargada en el sistema de control de la planta.	52

Figura 21 Listado de alarmas confirmación de arranque de la bomba de recirculación LAY-UP-STAT.....	52
Figura 22 Gráficos de la bomba Off line. (CF-P-3B).....	53
Figura 23 Gráfico de la bomba On line. (CF-P-3B).....	53
Figura 24 Inyección de químicos manual con bomba neumática.....	54
Figura 25 MSDS Material safesy data sheet Nalco 356.....	55
Figura 26 MSDS Material safesy data sheet BT 3000.....	56
Figura 27 MSDS Material safesy data sheet Eliminox.....	57
Figura 28 Rangos de control de la caldera en preservación húmeda.....	58
Figura 29 HRSG fuente nooter eriksen Termovalle.....	63

Anexos

Anexo 1 Certificado de entrenamiento en ovation.	73
Anexo 2 Certificado en inspecciones de calderera recuperadoras.....	73
Anexo 3 Certificado de inspección de calderas.....	74
Anexo 4 Certificado cuidado de calderas de potencia.....	74

Introducción

La automatización industrial hoy en día es una herramienta muy importante en los diferentes campos de la industria, ya que permite realizar productos estándar y con menores costos de fabricación. Para los operarios también es de gran ayuda porque con esta se pueden eliminar tareas peligrosas y de mucho esfuerzo físico.

Dentro de este proyecto se escogió el diseño de un sistema automático para la recirculación del agua de una caldera durante sus tiempos fuera de servicio mejor conocido como preservación húmeda.

La preservación húmeda se basa en mantener el agua de la caldera con unos parámetros homogéneos para poder garantizar que los pH, conductividad y residual de eliminox³ en el agua. La cual ayuda que la tubería este pasivada y evite que se produzcan incrustaciones en las mismas y así evitar rupturas en las tuberías de la caldera cuando se coloca en servicio haciendo que los materiales tengan elongación por las altas temperaturas.

Con la recirculación de la caldera también se evitan los llamados puntos muertos, que son aquellos puntos donde no se presenta flujo de agua cuando la caldera se encuentra por fuera de servicio provocando sedimentación en la parte inferior de las tuberías de la caldera, por falta de una recirculación del agua en su interior.

³ residual de eliminox: cantidad de oxígeno disuelto en el agua. (Nalco, 2005)

Título del trabajo de grado

Diseño de un sistema para la automatización de la preservación humedad de una caldera de recuperación de calor para la planta termoelectrica Prime Termovalle.

Planteamiento del problema

El HRSG cuando está en largos periodos de parada es recomendable mantenerla sin agua y presurizada con nitrógeno para evitar la entrada de oxígeno, lo cual es una desventaja al momento de colocarla en servicio puesto que conlleva un mayor tiempo y alto costo del agua de proceso, la cual se debe tratar con productos químicos para tener el agua en rango antes de colocar en servicio en HRSG.

Al realizar una serie de consultas en diferentes plantas térmicas de la región y consultado los códigos ASME (sección VII guías recomendadas para el cuidado de una caldera) de los distintos modelos de preservación húmeda en óptima para mejorar la confiabilidad del HRSG al momento de estar en largos periodos fuera de servicio. Con estas investigaciones se llega a la conclusión que con el diseño de un sistema de recirculación del agua de las calderas se puede mejorar en su confiabilidad.

El proceso se implementó en la planta prime Termovalle de manera manual usando una bomba neumática para inyectar químicos requeridos para su preservación recirculándolos con el agua que hace parte del proceso para homogenizar la mezcla hasta conseguir los valores de PH establecidos por el fabricante como lo recomienda el código ASME. Este procedimiento por ser manual es supervisado por un operador de campo el cual tiene contacto con los químicos utilizados, lo cual le genera un riesgo de accidente por la manipulación de productos químicos ya sea por su contacto o inhalación para este proceso de preservación, los cuales son perjudiciales para la salud, también generan un gran riesgo ambiental como, por ejemplo, un derrame de producto.

Así mismo, se genera un impacto económico negativo en la empresa a nivel de uso del recurso humano, pues quien realiza la labor no todo el tiempo tiene la disponibilidad para estas funciones ya que tiene otras funciones operativas.

Antecedentes

El proceso de preservación húmeda en una caldera de recuperador de calor es muy importante para conservar la vida útil del equipo, en el modelo de plantas térmicas colombianas que son utilizadas en arranques por demanda o seguridad los HRSG cumplen un papel fundamental ya que son encargadas de la generación de vapor para el funcionamiento de las turbinas de vapor, por eso es indispensable su cuidado y su disponibilidad al momento de colocarlas en servicio por el tipo de operación cíclicas es indispensable su preservación por eso en este proyecto se diseñara un sistema de preservación automatizado pensando en el cuidado de los equipos y mitigando algunos impactos que estos generan al realizarlo de manera manual.

Actualmente este proceso en la planta de generación de energía Prime Termovalle se realiza con una bomba neumática donde se evidencias algunas falencias en su funcionalidad como es el caso de la mezcla del producto en el sistema (agua & químicos) aplicados, según las normas técnicas AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, "Boiler Lay-up Procedures", Boiler Lay-up Task Group for Industrial Subcommittee of the ASME Research Committee on Water in Thermal Power Systems, (1982) para la conservación de las calderas, el agua que se utiliza en la preservación debe tener unos rangos de calidad como es el PH, alcalinidad, oxígeno disuelto para evitar problemas como incrustaciones, corrosión y fallas mecánicas en las tuberías por mantener bajos rangos químicos de preservación los cual hace muy importante el control químico del agua empleada para la preservación y el costo de los insumos utilizados y debido al aumento sustantivo del dólar en Colombia los productos químicos utilizados para el proceso de preservación húmeda ha aumentado significativamente los cual obliga a mejorar los procesos para evitar perdida de productos, y aumento en el presupuesto, también con el diseño disminuirán algunos riesgos que corren los operadores de campo al

inyectar el químico al sistema con la bomba neumática, estas por ser sustancias químicas pueden ser perjudiciales para el organismo y el medio ambiente en caso de derramen accidental por el operario. El monitoreo de la calidad de agua se realiza manual con una muestra analizada en el laboratorio donde al obtener resultados el operador toma acciones puntuales como disminuir o aumentar el químico según sea el caso.

Este proceso puede llevar largas jornadas de trabajo hasta obtener una caldera con una preservación homogénea en cada uno de sus componentes internos.

Justificación

El diseño busca mejorar el proceso de recirculación del agua de la caldera implementado el automatismo que contribuiría a la empresa en temas como seguridad pues se reduce potencialmente el impacto que tendría un operador de lesionarse por el gran riesgo que implica la manipulación de productos químicos al realizar esta labor con bombas neumáticas; reducir impactos ambientales y afectaciones a el medio ambiente por un derrame de estos productos que son potencialmente peligrosos para el ecosistema.

También aumentar la vida útil de la caldera basadas en las normas ASME sección VII guías recomendadas para el cuidado de una caldera, minimizando los gastos en mantenimientos programados o reparaciones por una mala preservación húmeda y mejorando los tiempos de respuestas al momento de entrar en servicio por largos periodos de parada y bajar costos en uso de productos químicos para colocar el agua en óptimas condiciones para su uso en el proceso.

Con el diseño de la recirculación automática se obtiene una recirculación uniforme usando una bomba de recirculación acoplada a un motor eléctrico con sus respectivas protecciones, monitoreo de señales en tiempo real desde la sala de mando utilizando el sistema de control distribuido de la planta Prime Termovalle.

Con la implementación de este diseño se ahorraría 2 a 3 horas aproximadamente de cada turno de 12 horas, que es el tiempo que tarda un operador en realizar la operación, también se disminuye el uso del vigía de seguridad que debe realizar el acompañamiento del operario para esta labor.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema de recirculación automático para la preservación humedad de la caldera para evitar que el operario manipule productos químicos y mejorar los tiempos de confiabilidad al momento de puesta en servicio de la caldera.

Objetivos específicos

Describir el proceso de recirculación del recuperadora de calor.

Consultar sistemas de control y monitoreo de señales.

Diseñar programa para la comunicación de las señales de monitoreo con el PLC Ovation.

Realizar un análisis de las señales obtenidas para su automatización.

Diseñar el sistema de recirculación que ayude a aumentar la vida útil de la caldera

Minimizar los riesgos durante manipulación de químicos en la operación de dosificación a la caldera.

Alcances y limitaciones del proyecto

El diseño se encuentra enfocado en la automatización de un sistema de recirculación de agua en una recuperadora de calor HRSG para la preservación húmeda, enfocado en el cuidado y extensión de vida útil de cada uno de los componentes que está conformada la calderas, esta caldera se encuentra ubicada en la planta de generación de energía prime Termovalle, la cual es una planta conformada por un ciclo 1*1 ciclo combinado conformada por una turbina de gas Siemens Westinghouse de 165 Mw cerrando el ciclo con una caldera Nooter eriksen acoplado a una turbina de vapor Westinghouse de 76 Mw con un tipo de operación por demanda, por este tipo de operación cíclica se debe mantener en un modo de reserva para cumplir con los plazos de arranque cuando el sistema la requiera de es de 6 horas para entrar en mínimo técnico permitido lo cual no sería posible si la caldera se mantiene en preservación seca lo cual aumentaría los tiempos de operación que puede llegar afectar al Heat rate ⁴de la planta posicionándola como no eficiente, por eso este diseños es una de las mejoras que se destacan para mantener la caldera disponibles durante largos periodos y sin afectar los componentes asociados, dándole a la planta un plus de eficiencia en cuantos tiempos de entrada en operación y costos por consumos de químicos necesarios para su proceso de preservación.

Es un diseño novedoso ya que se realizaron investigación y estudios de las inspecciones realizadas a la caldera donde se demuestra que si el proceso de recirculación es automatizado se tendrá más control sobre el mismo y minimizaría riesgos a los operadores que mantienen en contacto con los productos químicos utilizados para la preservación.

⁴ Heat rate: termino que se utiliza en las centrales térmicas para medir su eficiencia. (EIA, 2017)

La limitación de implementación del proyecto es el presupuesto que la planta asigne para llevar a cabo su ejecución, esto dependería de la junta de accionistas de la planta, ya que es un proyecto costoso.

Marcos de referencia

Marco teórico conceptual

HRSG

La caldera de recuperación de calor o HRSG en un ciclo combinado es el elemento encargado de aprovechar la energía de los gases de escape de la turbina de gas transformándola en vapor. Con posterioridad, ese vapor puede transformarse en electricidad por una turbina de vapor, o ser utilizado en procesos industriales y en sistemas de calefacción centralizados. (Renovatec, 2012)

Preservación húmeda

En este método se llena completamente la caldera con agua químicamente tratada, adicionalmente para evitar entrada de aire se debe sellar herméticamente y se presuriza la caldera con Nitrógeno a 5 Psi. Normalmente se añaden los siguientes productos químicos manteniendo las concentraciones que se indican:

Aminas 356 de nalco (Na_2SO_3): 600 gr/m³; Soda Caustica (Na OH): 350 gr/m³

Elimin- ox (NH_3): 10 gr/m³

Tanto la amina como el Elimin-ox hidracina se usan para remover el oxígeno disuelto y la soda caustica y amoniaco se emplean para mantener un PH de 10.5

También se aconseja utilizar un dispersante polimérico para poder eliminar más fácilmente los lodos que se precipitan (120 gr/m³).

Recirculación del HRSG

Una caldera es un recipiente cerrado en el que el agua a presión se transforma en vapor mediante la aplicación de calor. En el horno de caldera, la energía química del combustible se convierte en

calor, y la función de la caldera es transferir este calor al agua contenida de la manera más eficiente. La caldera también debe diseñarse para generar vapor de alta calidad para uso de la planta. En la Figura [29] se presenta un diagrama de flujo para una planta de calderas típica.

Una caldera debe estar diseñada para absorber la máxima cantidad de calor liberada en el proceso de combustión. Este calor se transfiere al agua de la caldera mediante radiación, conducción y convección. El porcentaje relativo de cada uno depende del tipo de caldera, la superficie de transferencia de calor diseñada y los combustibles.

Con base en un historial operativo que supera los 50 años, la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) ha proporcionado pautas para la calidad del agua en las calderas industriales modernas. Estos criterios se establecieron para asegurar un funcionamiento confiable y seguro de las calderas.

La Tabla [1] refleja verdaderamente los parámetros de operación seguros y confiables. Esto se logra mediante un tratamiento interno y externo adecuados.

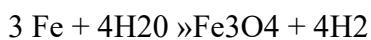
Tabla 1*ASME Guidelines for Water Quality in Modern Industrial Water Tube Boilers*

Boiler Feed Water			Boiler Water			
Drum Pressure (psi)	Iron (ppm Fe)	Copper (ppm Cu)	Total Hardness (ppm CaCO3)	Silica (ppm SiO2)	Total Alkalinity** (ppm CaCO3)	Specific Conductance (micromhos/cm) (unneutralized)
0-300	0.100	0.050	0.300	150	700*	7000
301-450	0.050	0.025	0.300	90	600*	6000
451-600	0.030	0.020	0.200	40	500*	5000
601-750	0.025	0.020	0.200	30	400*	4000
751-900	0.020	0.015	0.100	20	300*	3000
901-1000	0.020	0.015	0.050	8	200*	2000
1001-1500	0.010	0.010	0.0	2	0***	150
1501-2000	0.010	0.010	0.0	1	0***	100

NOTA: Control químico del agua recomendado por la ASME para calderas a diferentes presiones.

Los contribuyentes más importantes a la corrosión del lado del agua de la caldera son el oxígeno disuelto, ácido o cáustico en el agua y una temperatura alta. Si alguno de estos no está controlado, pueden producirse picaduras graves, ranuras y fragilización del metal del tubo, lo que finalmente conducirá a la falla. Una buena comprensión de los mecanismos y el control de estos factores es extremadamente importante.

Proceso de corrosión en la caldera es importante porque el agua corroe rápidamente el acero dulce; a medida que aumenta la temperatura, la reacción se acelera. La siguiente reacción es típica de la corrosión del hierro en una caldera:



Plancha + Agua / Vapor» Magnetita + Gas hidrógeno

La magnetita producida es óxido de hierro negro. En condiciones normales de funcionamiento, este es el producto típico de la corrosión. Sin embargo, también es esta reacción la que inhibe la corrosión excesiva en las calderas de vapor. En una caldera nueva o limpia, el proceso de corrosión inicial produce esta película de magnetita como una capa tenaz en la superficie del acero. Esta capa de magnetita evita cualquier contacto posterior con el acero o la superficie del agua. En consecuencia, la reacción de corrosión es auto inhibida.

Esta capa de magnetita crece hasta un grosor aproximado de 0,0004-0,001 pulgadas, momento en el que cesa cualquier proceso de corrosión adicional. Se produce un debilitamiento o daño periódico de esta capa protectora, y el tratamiento adecuado del agua de la caldera interna puede reparar esta capa. La corrosión normal en un sistema de caldera limpio progresa aproximadamente a 1 mm por año. Los niveles de pH apropiados para el mantenimiento de la capa de magnetita son aproximadamente 8.5-12.7, con la mayoría de los sistemas operando a un nivel de pH de 10.5-11.5, por esta razón es indispensable mantener el agua que circula a el interior de la caldera en movimiento para evitar la pérdida de esta capa protectora y se formen suspensiones bajo depósitos y posteriormente incrustaciones que causen graves daños al interior de los tubos.

El proceso se lleva a cabo con la implementación de una bomba de recirculación de caldera donde su succión será acoplada a una de las tuberías existentes del sistema agua de condensado donde impulsará el agua ya tratada desde el Hotwell hasta la entrada de agua del domo de baja presión, intermedia y alta presión. esta agua será recirculada por economizadores evaporadores y tambores manteniendo sus condiciones fisicoquímicas con un monitoreo constante de señales y control químico por medio de un skid de inyección o dosificación química on-line encargada de suministrar el químico correspondiente para mantener la preservación

húmeda bajo los rangos que los códigos ASME sugieren para el cuidado de las calderas. (ASME, 2007)

(NFPA, 2014)

Marco legal o normativo

El proceso de preservación húmeda en las plantas térmicas que son consideradas como plantas de respaldo es fundamental para mitigar los costos operacionales, riesgos laborales e impactos ambientales por el uso de productos químicos que son utilizados para el control químico del agua que se usa en el proceso de generación de vapor. Estos procedimientos están regulados bajo los códigos ASME (crtd- vol. 66 consensus for the lay-up of boilers, turbines, turbine condensers, and auxiliary equipment) como modelos de desarrollos para la implementación de procesos de mantenimiento y preservación de calderas y equipos asociados (NFPA, 2014); (EPRI-USA, 1985)

En Colombia el artículo 113 de la Ley 9ª de 1979 establece que “Las calderas, cilindros para gases comprimidos y otros recipientes sometidos a presión, sus accesorios y aditamentos deberán ser diseñados, construidos y operados de acuerdo con las normas y regulaciones técnicas y de seguridad que establezcan las autoridades competentes (TRABAJO, 2018).

Marco tecnológico

Sistemas de control y monitoreo de señales

El sistema DCS de la planta prime energía Termovalle es suministrado por Emerson, de la referencia Ovation y está basado en los siguientes componentes

Controladores redundantes (DROP1/51, DROP 2/52, DROP 3/53 y DROP 4/54):

Son los procesadores industriales que tienen las siguientes funciones:

Corren y ejecutan las estrategias de control programadas.

Realizan el proceso la lectura de las entradas analógicas y digitales a través de las tarjetas de Entrada/Salida y sistemas conectados por comunicaciones.

Realiza la verificación de los límites de las entradas digitales y analógicas.

Envía o escribe los nuevos puntos de control en las salidas digitales y analógicas en las tarjetas de Entradas/Salidas y los sistemas conectados por comunicaciones.

Funcionan por parejas redundantes, donde uno de los controladores funciona como “vivo” y el otro como standby, ambos leen las entradas y corren las rutinas, pero solo el vivo escribe las señales de control en las salidas.

Se tienen 4 parejas de controladores, cada uno de ellos está encargado de un sistema de la siguiente manera:

DROP 1/51: Turbina de combustión y su generador.

DROP 4/54: Turbina de Vapor y su generador.

DROP 2/52: Caldera de recuperación de Calor – HRSG.

DROP 3/53: Sistemas auxiliares asociados a estos equipos y los equipos de Balance de Planta – BOP.

Tarjetas de Entradas/Salidas

Son los equipos encargados de recibir o enviar las señales eléctricas de los equipos de campo, convertirlas en señales digitales para ser intercambiadas con los controladores.

DROP200-Servidor de base de datos y controlador del dominio

Es un servidor tipo torre que funciona como un controlador del dominio de la red de Ovation, permitiendo la administración de usuarios, permisos, accesos y equipos dentro de la red.

Servidor de base de datos

En este servidor se pueden realizar las siguientes funciones:

Almacena y administra en una base de datos toda la información de la aplicación fuera de línea: Datos de control, hojas de control, puntos, graficas de interfaz, configuraciones de los equipos conectados.

Funciona como una estación de ingeniería, la cual permite realizar variaciones de la programación y puntos de control.

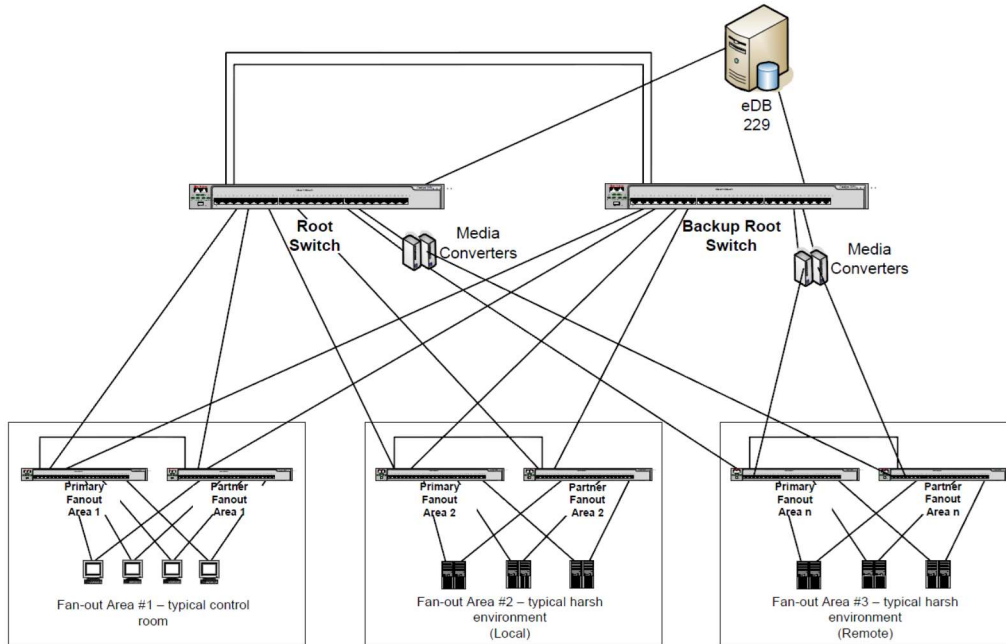
Funciona como una estación de operación.

Red Ovation

Es una red Ethernet compuesta por un arreglo de switches, routers, KVMs y Media Converters que conectan todos los nodos del sistema y permiten el intercambio físico y lógico de las comunicaciones entre ellos. En la **Figura 1** se evidencia la arquitectura del sistema ovation prime Termovalle

Figura 1

Arquitectura de comunicación DCS Ovation



Marco contextual

El proceso de preservación húmeda en las plantas térmicas que son consideradas como plantas de respaldo es fundamental para mitigar los costos operacionales, riesgos laborales e impactos ambientales por el uso de productos químicos que son utilizados para el control químico del agua que se usa en el proceso de generación de vapor. Estos procedimientos están regulados bajo los códigos ASME (crtd- vol. 66 consensus for the lay-up of boilers, turbines, turbine condensers, and auxiliary equipment) como modelos de desarrollos para la implementación de procesos de mantenimiento y preservación de calderas y equipos asociados, en el caso de la planta Prime Termovalle se busca la implementación de un diseño automatizado que se encuentra enfocado a dar solución a la problemática que tiene la planta ubicada en palmira, valle del cauca en la cual nos encontramos empleados.

la planta no cuenta con un sistema automático de recirculación para la Caldera específicamente para preservación húmeda, durante largos periodos de parada. Este proceso de

preservación se realiza con bombas neumáticas donde se evidencian riesgos por parte del personal de operaciones al tener contacto con químicos usados para la preservación de esta caldera, por eso este diseño se ve enfocado en automatizar completamente el proceso y minimizar riesgos laborales y extender la vida útil del equipo.

Utilizando el sistema de control de la planta el cual cuenta con una alta gama de herramientas que facilitan la supervisión de los procesos, donde se incorporan señales de campo para que realice el control automático de arranque y paro de una bomba dosificadora de químicos y una bomba encargada de recircular el proceso con el fin de evitar la manipulación manual por el operador, todo este proceso será controlado por los operadores de sala de mando que son los encargados de realizar el análisis de las señales y tomar las medidas correctivas del proceso.

El sistema de control utilizado es el Ovation suministrado por Emerson, PLC auxiliares como Allen-Bradley, equipos de monitoreo en línea de Ph, conductividad y bombas de desplazamiento positivo usando protocolos de comunicación de Device Net y Profibus para comunicarnos entre los distintos sistemas de control. Todas las señales de campo se verán reflejadas en la sala de mando animadas en los gráficos o interfaz HMI.

Metodología

Enfoque y tipo de la investigación

La propuesta se enmarca en el tipo de investigación cuantitativa, ya que al tener una problemática definida se establecen unos objetivos específicos los cuales sirven para solucionar o mitigar dicha problemática, también se establecen la recolección de datos que servirán de apoyo en la medición y el análisis de la mejor solución en la problemática planteada.

Identificación de las líneas y sub-líneas de investigación del programa

En la Investigación en la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería dentro de la: cadena ingeniería electrónica, telecomunicaciones y redes.

El proyecto se encuentra en la línea 2 que es: línea automatización y herramientas lógicas
área: Electrónica.

La temática específica se trabaja en: La automatización de un proceso donde se utilizará el sistema de control de la planta para obtener como producto final un sistema automatizado para la recirculación del agua de la caldera durante largos periodos de parada.

Población y muestra

Población

La población que puede ir dirigido este proyecto es a la planta de generación de energía eléctrica Prime Termovalle ubicada en el departamento de Valle de Cauca.

Muestra

Este proyecto va enfocado en el diseño de un sistema de control automático para la recirculación del agua en una caldera de recuperación de calor (HRSG), donde si mitigaran los riesgos que

tiene el operador al realizar la labor de manera manual y mitigación de impactos ambientales por derramen es de productos químicos no controlados por falla en los equipos actualmente utilizados.

Variable para considerar

La variable que vamos a considerar es de tipo cuantitativa, ya que al tener una problemática definida se establecen unos objetivos específicos los cuales sirven para solucionar o mitigar dicha problemática, también se establecen la recolección de datos que servirán de apoyo en la medición y el análisis de la mejor solución en la problemática planteada. En la **Tabla 2** representa la recolección de los datos durante una preservación húmeda realizada de forma manual.

Tabla 2

Recolección de datos preservación húmeda.

Preservación Húmeda HRSG							
		sampling	sampling	Boliler feed (Sampling)		Condensate	
	FECHA	HP Drum	IP Drum	Eliminox	ORP <-300mV	PH	PH
		PH	PH				
SEMANA #1	4/01/2020						
	8/04/2020	9,6	9,7	0,9	50	10,4	9,2
SEMANA #2	11/07/2020	9,4	9,6	0,5	60	9,4	9
	15/11/2020	9,54	9,59	0,571	69	9,74	9,56
SEMANA #3	18/15/2020	9,4	9,5	0,446	70	9,5	9
	22/18/2020	9,4	9,4	0,12	75	9,6	8,9
SEMANA #4	25/22/2020	9,4	9,1	66,8	221	9,87	8,5
	29/26/2020	9,1	9,3	55,1	118	9,65	8,8
SEMANA #5							

Diseño de producto

Descripción del proceso

Durante muchos años el proceso de preservación en la planta prime Termovalle se realizaba de manera manual con bombas neumáticas y toma de muestras locales para su análisis en laboratorio, después de unos meses de investigación, recolección de datos y estudios previos a las normas ASME se plantea el diseño de un sistema automatizado para la preservación humedad de una caldera. Consiste en la automatización de una bomba de desplazamiento positivo y un skid⁵ de inyección de químicos para mantener los parámetros de pH, conductividad y oxígeno disuelto en el agua de proceso que recorre cada una de las tuberías de la caldera de recuperador de vapor y sus procesos asociados, esto con el fin de mitigar los daños causados por la formación de incrustaciones, sedimentación y corrosión cuando el agua de proceso queda sin movimiento durante periodos prolongados.

El proceso de preservación húmeda en plantas térmicas tiene un tiempo limitado ya que el agua al interior de las tuberías de un HRSG sufre cambios físico químicos que llegan a impactar considerablemente el material si no se tienen las precauciones necesarias durante un periodo de preservación con la dosificación de los químicos requeridos para esta función ya que estas unidades están diseñadas para mantener en servicio, pero debido a la regulación energética colombiana, las grandes fuentes hídricas y la entrada de energía renovables como la fotovoltaicas dejan a la generación térmica como fuentes de generación de energía de respaldo frente al sistema interconectado colombiano donde su entrada en línea están por seguridad cuando existan largos periodos de sequía conocido como fenómenos del niño. Por eso la base fundamental de este diseño es lograr mantener el agua en constante movimiento dentro de las tuberías de la

⁵ Skid: unidades modulares de procesos. (Ipocromsa, 2022)

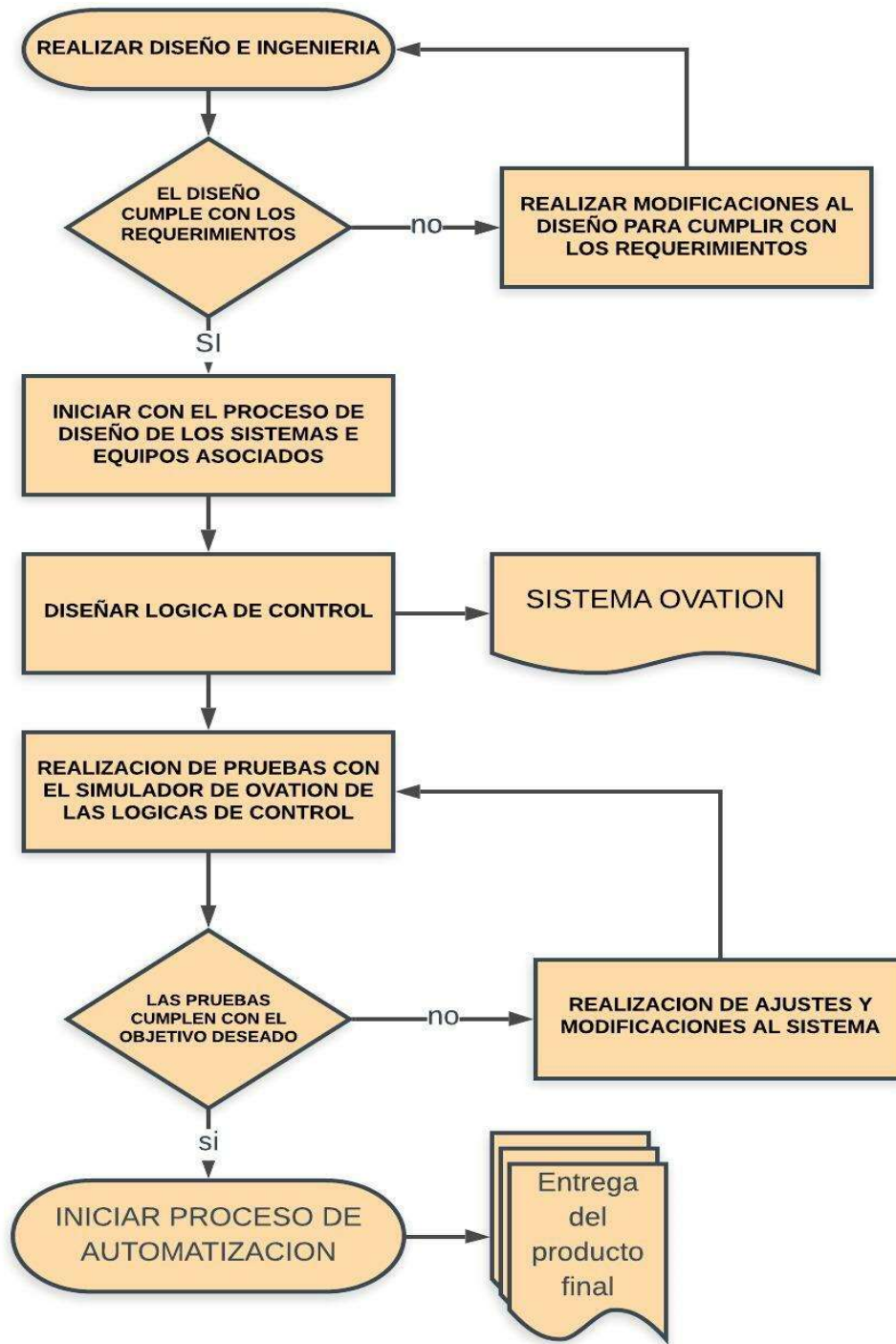
caldera y sus sistemas asociados con un monitoreo en línea de estos parámetros utilizando las sondas de pH, conductividad y un equipo de ORP para el análisis de oxígeno disuelto, integrándolo a el sistema de control distribuido existente en la plata Prime Termovalle todo esto se logra con la construcción de las lógicas de control ya establecida en el sistema ovation 3.7 con la comunicación de los equipos existentes bajo protocolos de comunicación Device NET.

El cual brinda la funcionalidad de operar de forma automática y remota las bombas asociadas a este diseño y monitoreo desde la sala de mando sin necesidad que el operador de campo este todo el tiempo realizando monitoreo en laboratorio de los parámetros del agua, esto con el fin de minimizar riesgo por manipulación de químicos los cuales pueden ser nocivos para la salud si tienen contacto directo con el operario, el diseño optimizara los tiempos operativos empleados por el operador donde podrá dedicarse a otras actividades durante su turno.

Diagrama de flujo del proceso

Figura 2

Diagrama del proceso de automatización



Ficha técnica del producto o servicio

El protocolo DeviceNet tiene dos tipos básicos de mensajes I/O y explicit. Cada uno de ellos es adecuado a un determinado tipo de dato, conforme descrito abajo; I/O: tipo de telegrama síncrono dedicado a desplazamiento de datos prioritarios entre un productor y uno o más consumidores. Dividen de acuerdo con el método de cambio de datos.

Los principales son:

Polled: método de comunicación en que el maestro envía un telegrama a cada uno de los esclavos de su lista (scan list). Así que recibe la solicitud, el esclavo responde prontamente la solicitud del maestro. Este proceso es repetido hasta que todos sean consultados, reiniciando el ciclo.

Bit-strobe: método de comunicación de donde el maestro envía para la red un telegrama conteniendo 8 bytes de datos. Cada bit de estos 8 bytes representa un esclavo que, se diseccionado, responde de acuerdo con el programado.

Change os state: método de comunicación donde el cambio de datos entre maestro y esclavo ocurre apenas cuando haber cambio en los valores monitoreados/controlados, hasta un cierto límite de tiempo. Cuando este límite es atingido, la transmisión y recepción ocurrieran mismo que no tenga 11 habido alteración. La configuración de esta variable de tiempo es hecha en el programa de configuración de red.

Cyclic: otro método de comunicación muy parecido al anterior. La única diferencia queda por cuenta de la producción y consumo de mensajes. En este tipo, todo cambio de datos ocurre en intervalos regulares de tiempo, independiente de haber sido alterados o no. Este periodo también es ajustado en el software de configuración de red.

Explicit: tipo de telegrama de uso general y no prioritario. Utilizado principalmente en tareas asíncronas tales como parametrización y configuración del equipamiento.

En el diseño se utilizará el método Change os state integrado a ovation por medio de una tarjeta de comunicación ETHERNET LINK CONTROLLER 5X00419G02 y módulos DeviceNet 1606-xlsdnet4 donde recibimos los datos monitoreados para que la lógica creada se encargue de cada una de las acciones necesarias para el control y operación de la bomba de recirculación.

Instrumentación implementada en el diseño

Sondas de pH y transmisor

El transmisor de agua M800 de dos canales es un transmisor multiparamétrico que proporciona mediciones de alto rendimiento y fiables con una cómoda pantalla táctil a todo color y ofrece la posibilidad de integrarse en una amplia variedad de sensores ISM y analógicos.

Funcionamiento y control intuitivos

El M800 cuenta con una amplia interfaz de pantalla táctil a todo color y una estructura de menús organizada para facilitar su uso con una formación mínima.

Funcionamiento seguro

El M800 tiene dos niveles de seguridad a seleccionar por el usuario para restringir el acceso a menús o funciones sensibles, lo que garantiza una gran seguridad del proceso.

Diagnostico preventivo

El equipo cuenta con diagnóstico predictivo ISM de sus sensores, lo que ayudará a gestionar los esfuerzos de mantenimiento y a prolongar la vida útil de los sensores. (METTLER TOLEDO, s.f.)

Figura 3*Sonda de pH***Figura 4***Transmisor de pH*

Indicadores de conductividad catiónica

Un sensor de conductividad mide la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica. La presencia de iones es lo que permite que la solución sea conductora: cuanto mayor sea la concentración de iones, mayor será la conductividad. (METTLER TOLEDO, s.f.)

Figura 5*Indicador de conductividad*



Bomba de desplazamiento positivo

Bomba centrífuga utilizada para impulsar un fluido por cada uno de los componentes de la caldera.

Figura 6

bombas de desplazamiento positivo



Bomba para dosificar el químico al HRSG

Pulsafeeder pump para inyectar el químico a la caldera

(PULSAFEEDER, s.f.)

Figura 7

Bomba dosificación de químicos



Materiales y herramientas involucrados en el diseño

12 metros de tubería de 2 pulgadas acero al carbón

6 metros de tubería de 3 pulgadas acero al carbón

3 cheques de 2 pulgadas

3 válvulas de globo de 2 pulgadas

1 válvula de mariposa de 3 pulgadas

12 metros de tubería de media pulgada

4 cheques de media

6 válvulas de globo de media pulgada

1 manómetro de 0 a 100 psi de ½

1 comando de start/stop local

8 codos a 90 de 2 pulgadas

5 codos a 45 de 2 pulgadas

10 codos a 90 de ½

1 codo a 90 de 3 pulgadas

1 brida soldada de 3 pulgadas

Maquina de soldar 480v

5 kilos de soldadura 7013

10 discos de pulir

15 discos de corte

2 Pulidoras

120 mt de cables de control 2*16 mm + shield

30 mt de cable de potencia 3*8 + tierra de 600 vol

Descripción del ambiente que se requiere para la materialización del proyecto

El proyecto se llevará a cabo en la planta generadora de energía Prime Termovalle, la cual se encuentra ubicada en la zona franca del pacifico vía aeropuerto km 6.

Planos y gráficas del prototipo

Skid de dosificación de químicos está conformado por un reservorio de acero inoxidable con una capacidad de 1000 litros para la contención de químicos, instrumentos de medición, un par de bombas de dosificación de químicos de alta presión y un tablero de control compuesto por un Plc allen bradley Rlogic 5000 encargado de controlar el funcionamiento de los componentes asociados al sistema, **Figura 8** representa la estructura del skid inyección de químicos y sus equipos asociados.

Figura 8

típico de montaje de una bomba de inyección de químicos

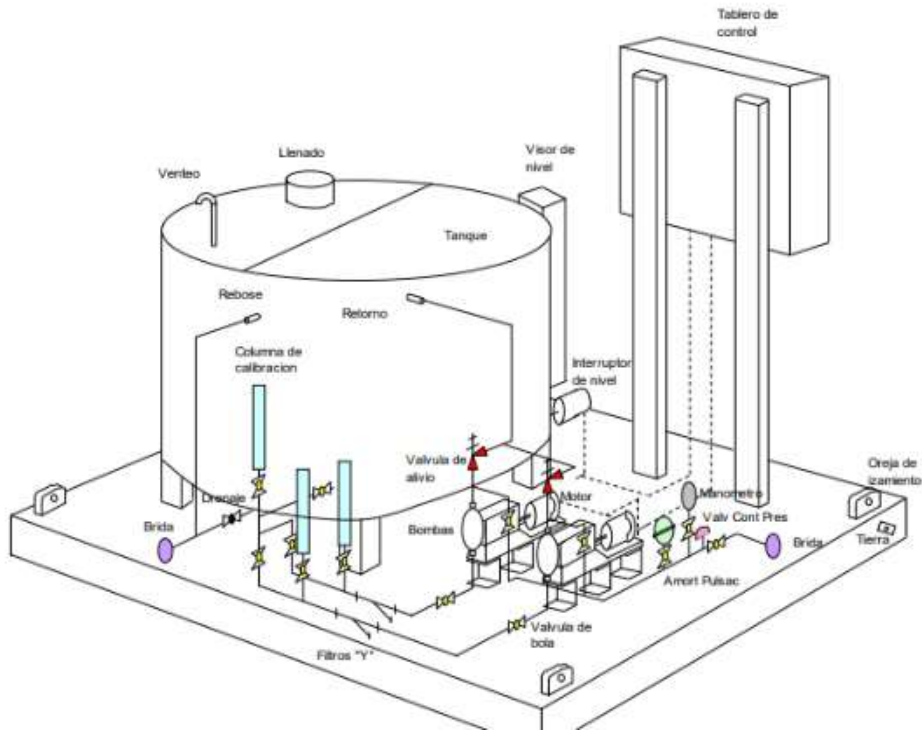


Figura 9

Modelo de instalación de bombas de desplazamiento positivo para inyección de químicos

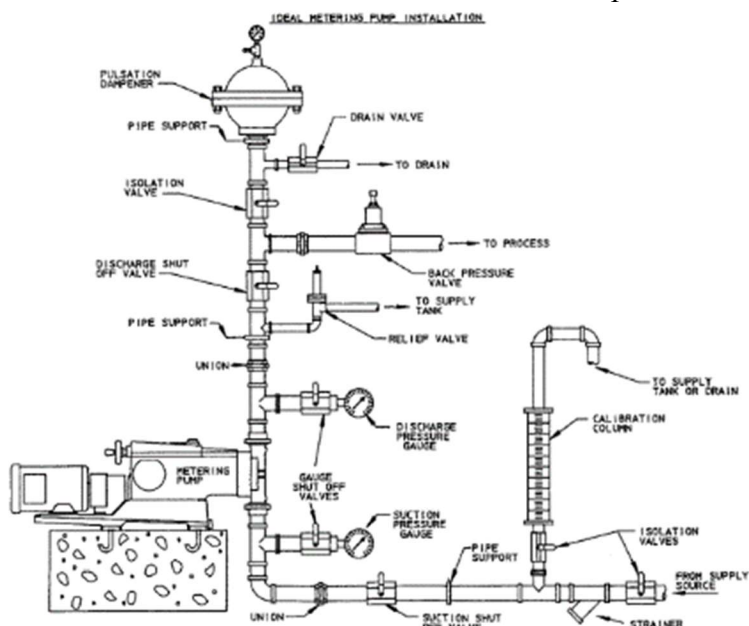
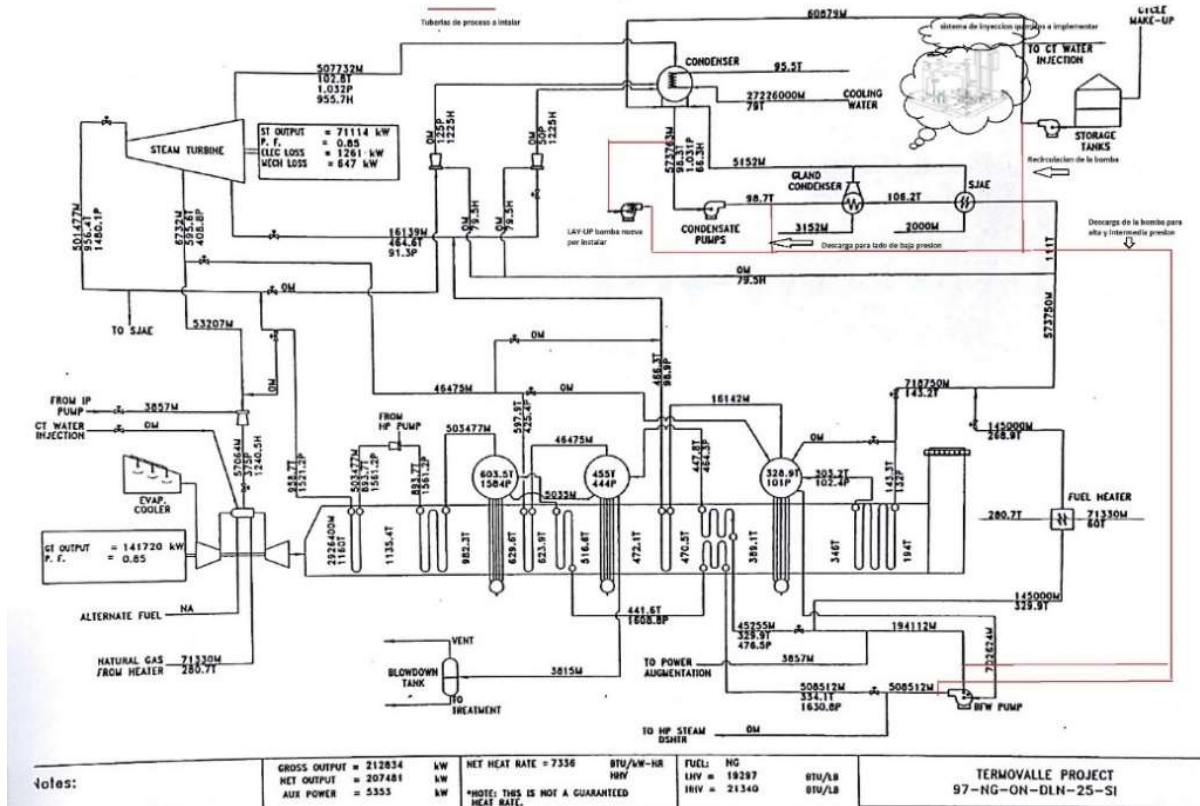


Figura 10

Diseño del sistema de recirculación HRSG.



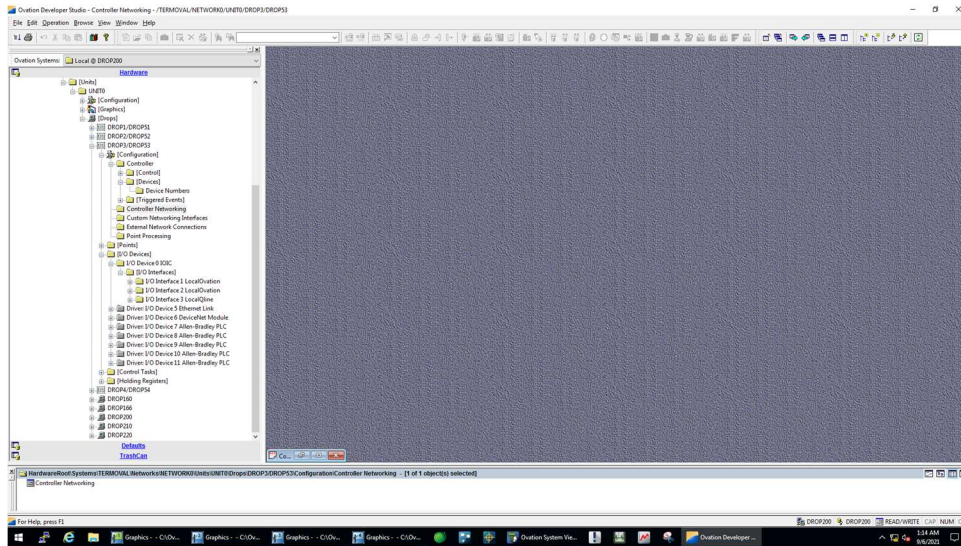
Análisis de señales obtenidas para su automatización

La **figura 11** representa el sistema de Control builder bajo ambiente windows donde se implementará cada una de las lógicas de control necesarias, bajo este ambiente es donde se implementará cada uno de los puntos asociados a las lógicas de control y direccionamientos.

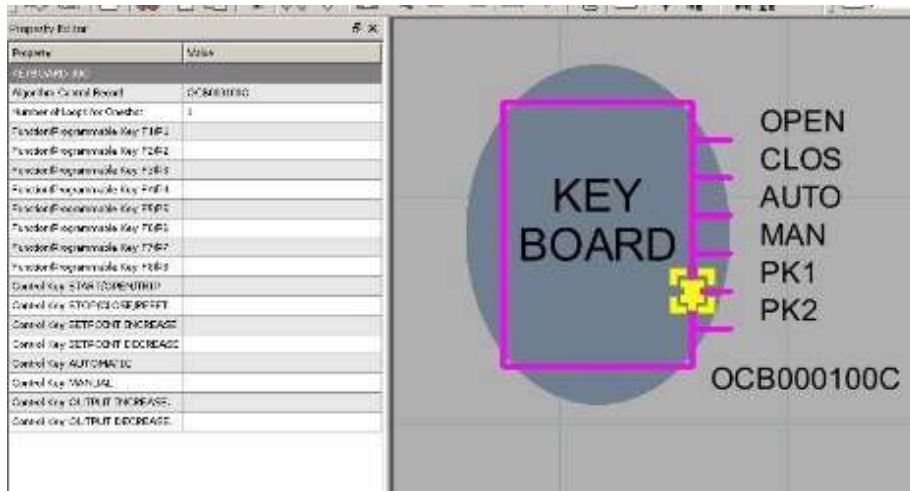
Al finalizar esa asignación de puntos y creación de lógicas se realiza el proceso de validación y cargue de información a cada una de las estaciones operativas que conforman la arquitectura de operación.

Figura 11

Control Builder para crear logicas de control en ambiente windows



En la **figura 14** se evidencia la lógica de control de para la operación de la bomba de recirculación, donde se emplearán señales digitales de entrada y salida para el mando de arranque y paro de la bomba, señales analógicas que son traídas desde campos para el control automático. Las entradas digitales son puntos internos que puede el programador crear en el sistema Ovation dándole la asignación deseada y que tipo de control quiere sobre el equipo usando un algoritmo de control en Ovation conocido como (Keyboard) que le permite al operador generar señales digitales de control, se emplearan compuertas lógicas como and, or, set reset para el funcionamiento adecuado del control de la bomba. La **figura 12** representa el icono del algoritmo Keyboard.

Figura 12*Algoritmo de control Keyboard*

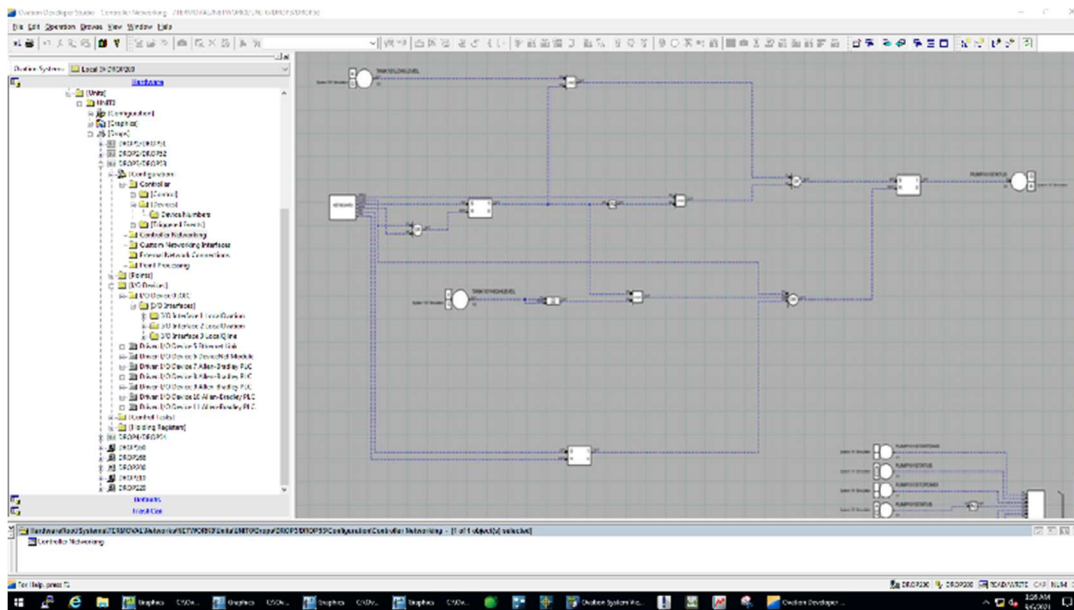
Este keyboard permite a el operador de sala control seleccionar el tipo de operación que desea tener sobre la bomba sea de modo manual o que trabaje en automático. Todo estos lo realizan desde el grafico que se encuentre asignado a la bomba que desea operar. En la **figura 22** el gráfico de Gráfico de la bomba Off line. (CF-P-3B)

En la **figura 13** muestra las entradas y salidas digitales, rlas entradas y salidas análogas más usadas en el sistema de control ovation para la construcción de logias de control.

Figura 13*Entradas y salidas digitales*

Figura 14

Lógica de control para arranque de la bomba de recirculación del agua en el HRSG



En la **figura 15** encontramos un PID asociado a un Mastation Juntos estos algoritmos realizan la función de control de lazo cerrado.

El PID realiza el cálculo matemático de corrección del error.

El Mastation nos da control automático sobre el modo de funcionamiento del PID.

El Mastation nos permite cambiar el modo en auto o manual

En la **figura 16** encontramos el algoritmo 2XSEL también se puede utilizar para sacar el promedio de dos valores y puede detectar cuando los valores de entrada se desvían entre sí.

Figura 15

PID

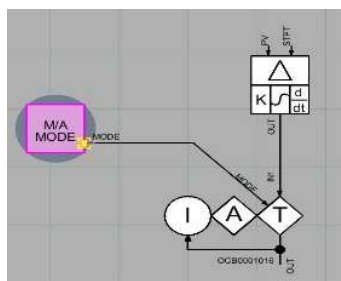
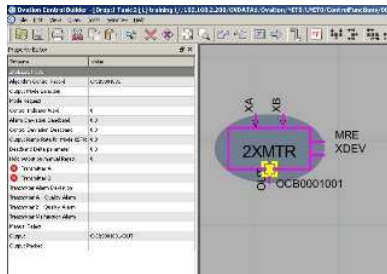


Figura 16

algoritmo de control 2XSEL



En la **figura 17** representa la logia de control de nivel utilizada para el control automático de la bomba donde la integramos con un transmisor de nivel el cual nos permite en tiempo real tener la referencia de nivel del reservorio donde estará la succión de la bomba dándole así un plus de seguridad a el equipo. Este control de nivel estar conformado por un algoritmo de control, entradas análogas salidas internas para la asignación de alarmas por bajo y alto nivel, un controlador PID para evitar oscilaciones en el control, Todo este control lo asociamos a el keyboard de la bomba para su automatismo.

El algoritmo de control en esta hoja será un 2XSEL el cual nos ayudará a mantener en control todo el tiempo el nivel.

Figura 17

Lógica para la simulación del proceso de operación de los indicadores de PH y conductividad.

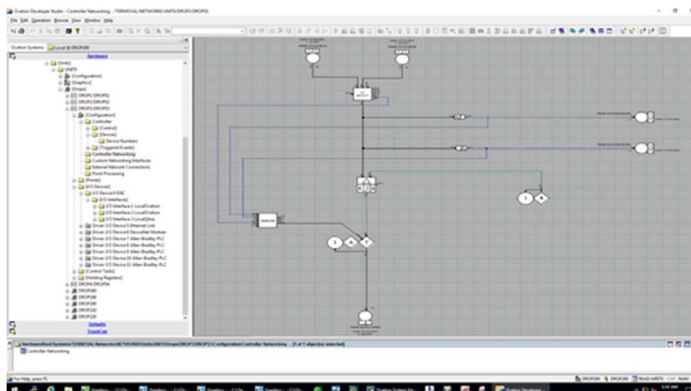


Figura 20 representa el proceso de simulación de las señales de campo para verificar el funcionamiento y poder asignar una dirección de control creando puntos internos y asignación de los puntos de supervisión en el gráfico, asignados para la visualización en la sala de control. Para poder realizar esta simulación se implementó un algoritmo de control llamado TRANSFER. Es un switch para señales analógicas.

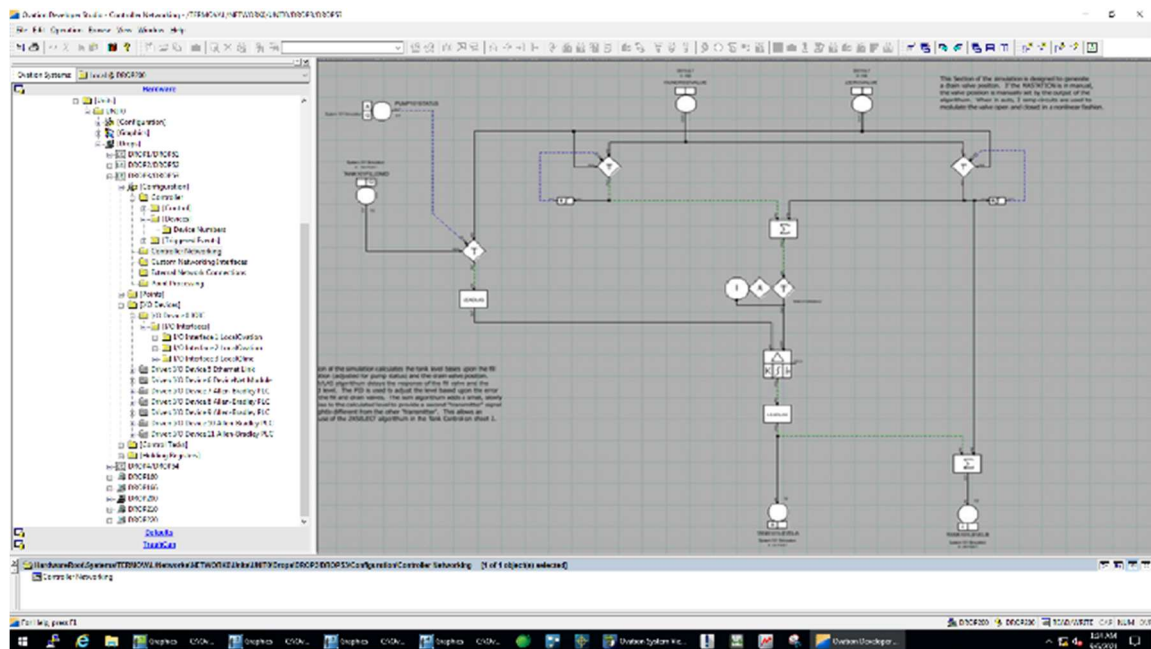
Cuando FLAG = 1, OUT = Input YES

Cuando FLAG = 0, OUT = Input NO

Estas no permiten inyectar la señal deseada y analizar su injerencia en la logia de control construida.

Figura 18

Lógica de control de nivel del tanque

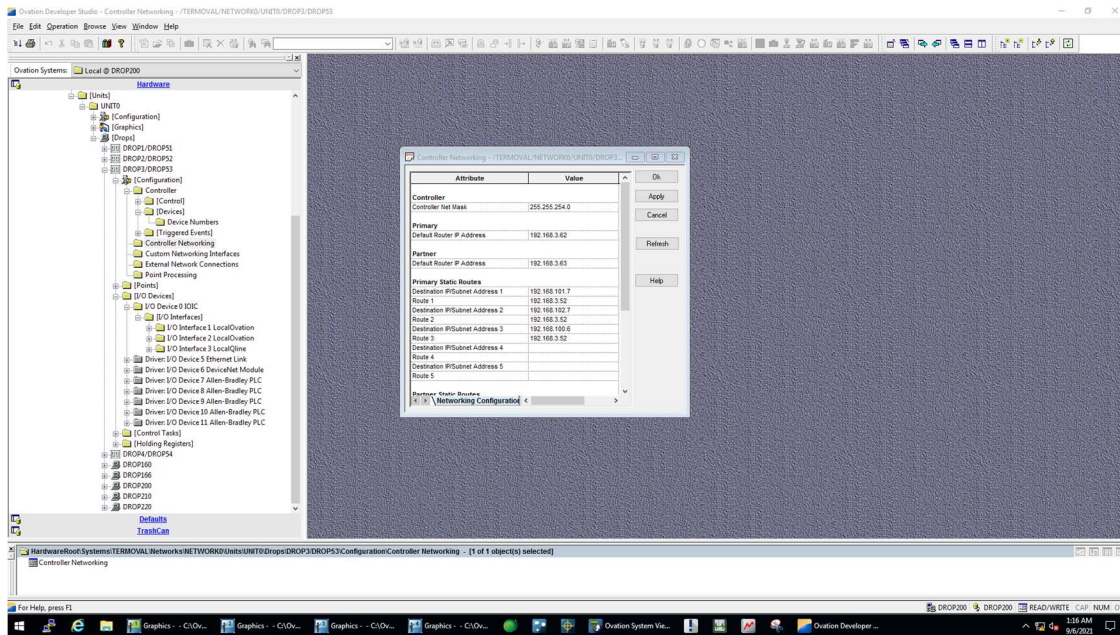


En la **figura 19** se tiene asignada la dirección del controlador utilizando como referencia el módulo de comunicación ETHERNET LINK CONTROLLER 5X00419G02 esta es una tarjeta que nos permite adquirir los datos suministrados por el skid de inyección de químicos e

integrándolas a una tarjeta de entradas analógicas y una tarjeta de salidas digitales para el funcionamiento integral del diseño planteado.

Figura 19

Dirección IP de los controladores Device net para la comunicación.



En la **figura 20** este es el ambiente simulado de la logia de control donde ya se aprecia el cambio del fondo de la pantalla que desaparece el ambiente de programación y queda el de funcionamiento, cada uno de los puntos asignados con sus respectivos valores de proceso para la sintonización del lazo de control y operación de la bomba (CF-P-3B) como se observa en la **figura 23** donde ya cambia de color de verde a rojo donde verde es off y rojo es en servicio. Ya todo el proceso integrado arroja una alarma priorizada con el status de operación del equipo observado en la **figura 21** lay -up-status.

Figura 20

Lógica de control ya cargada en el sistema de control de la planta.

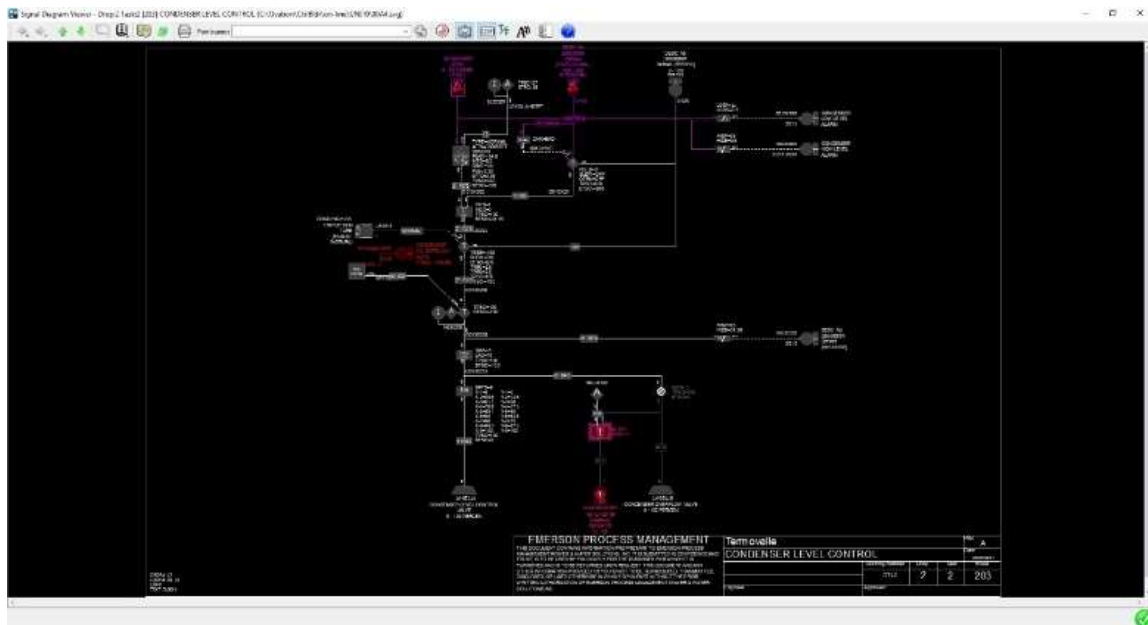


Figura 21

Listado de alarmas confirmación de arranque de la bomba de recirculación LAY-UP-STAT

Date	Alarm Type	Code	Name	Description	AP-LAY-VALUE
18/08/2021 3:37:15.417 PM	STOP	11538017A	11538017A	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	STOP	11538017B	11538017B	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017C	11538017C	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017D	11538017D	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017E	11538017E	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017F	11538017F	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017G	11538017G	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017H	11538017H	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017I	11538017I	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017J	11538017J	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017K	11538017K	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017L	11538017L	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017M	11538017M	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017N	11538017N	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017O	11538017O	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017P	11538017P	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017Q	11538017Q	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017R	11538017R	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017S	11538017S	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017T	11538017T	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017U	11538017U	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017V	11538017V	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017W	11538017W	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017X	11538017X	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017Y	11538017Y	CONDENSER LEVEL CONTROL	203
18/08/2021 3:37:15.417 PM	ALARM	11538017Z	11538017Z	CONDENSER LEVEL CONTROL	203

En la **figura 22** se aprecia el funcionamiento del sistema desde los gráficos. Donde el operador de la sala control podrá dar comandos de arranque y parada a la bomba o colocarla en automático según lo requiera el sistema.

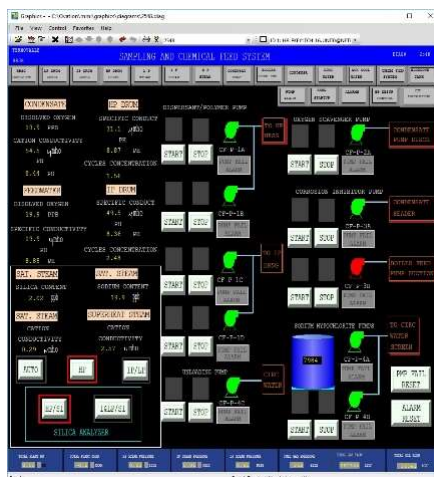
Figura 22

Gráficos de la bomba Off line. (CF-P-3B)



Figura 23

Gráfico de la bomba On line. (CF-P-3B)



Minimización de los riesgos durante la manipulación de químicos en la operación de dosificación a la caldera

Con el diseño planteado se monitorean cada una de las señales desde la sala de control y se evita que los operadores de campo tengan que realizar la actividad en el laboratorio y la inyección manual de químicos con la bomba neumática minimizando así los riesgos de accidentalidad con productos químicos provocados por fallas en los componentes de la bomba o herramientas asociadas a su uso como lo muestra la **figura 24** estos riesgos por salpicadura son muy comunes ya que los productos químicos deterioran los empaques entre las conexión de la bomba y el sistema que se le quiere inyectar el químico al proceso.

Otra causa es la utilización de aire de instrumentos para el funcionamiento de la bomba neumática como es una bomba de diafragma es necesario aire a alta presión para su funcionamiento y como resultado es someter el producto a alta presión queda almacenada en su interior y al momento de su desconexión sumada la presión que esta almacena genera accidentes los cuales son difíciles de minimizar con los elementos de protección personal comunes.

Figura 24

Inyección de químicos manual con bomba neumática.



Se evidencia en la **figura 24** el proceso descrito de inyección de químicos a el sistema donde se utiliza una bomba neumática, la ejecución del proceso de preservación y cada uno de sus componentes asociados. productos altamente nocivos para la salud MSDS Material safety data sheet. **Figuras 25, 26 y 27.** Estos riesgos son minimizados con la automatización del proceso.

Estos productos químicos pueden ser nocivos para el operador que los manipule como muestran las siguientes fichas de seguridad de los productos.

Figura 25

MSDS Material safety data sheet Nalco 356

NALCO Water
An Ecolab Company

NALCO Water
An Ecolab Company

NALCO®356

ALTAMENTE PELIGROSO

- CONTACTO CON LOS OJOS:**
Lave con agua durante **15 minutos**.
- CONTACTO POR INHALACION:**
Trasladar la persona a un lugar ventilado.
- CONTACTO CON LA PIEL:**
Lave con agua, use la ducha (**15 minutos**) inmediatamente quítese la ropa contaminada.
- CONTACTO POR INGESTION:**
Lavar la boca y dar de beber 1 ó 2 vasos de agua. **NO PROVOCAR EL VOMITO.**

EN TODOS LOS CASOS VISITE AL MEDICO

USE EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

INFLAMABLE

MEDIOS DE EXTINCIÓN:
Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores. Es posible el retorno de la llama a distancia considerable. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.
Punto de inflamación: 135 °F / 57.2 °C

EXTINTOR TIPO

2734

- FORMA:** Líquido
- APARIENCIA:** Amarillo Claro
- OLOR:** Amina
- SOLUBILIDAD (EN AGUA)** Completa
- 27.03.2017 V. 1.1

NALCO DE COLOMBIA LTDA.
Calle 18 No. 35-280
Tel.: 57-5-3748887 Ext. 110
Soledad, Atlántico, Colombia

En caso de emergencia llamar a
CISPROQUIM
TEL. 091-2886012
01-8000-916012

ESTABLE

CONDICIONES QUE DEBEN EVITARSE:
Calor, llamas y chispas.

MATERIALES QUE DEBEN EVITARSE:
Oxidantes fuertes (por ej. cloro, peróxidos, ácido nítrico, oxígeno concentrado) puede generar calor, fuego, explosiones y/o vapores tóxicos. Ácidos El contacto con ácidos fuertes (por ej. sulfúrico, fosfórico, nítrico, clorhídrico, crómico, sulfónico) puede generar calor, salpicaduras o ebullición, y vapores tóxicos.

PRODUCTOS PELIGROSOS DE DESCOMPOSICIÓN:
Bajo condiciones de incendio:
Óxidos de carbono Óxidos de nitrógeno (NOx) Óxidos de azufre Óxidos de fósforo

PELIGRO

ALMACENAMIENTO

Manténgase separado del calor y de las fuentes de ignición.
Manténgase en un lugar fresco y bien ventilado.
Consérvese lejos de agentes oxidantes.
Almacenar lejos de ácidos.
Mantener el recipiente herméticamente cerrado.

EN CASO DE DERRAMES

- Use equipo de protección personal
- Aíse, ventile y señalice el área contaminada.
- Evite el contacto con la sustancia.
- Recoja con materiales absorbentes inertes y proceda a la eliminación de los residuos.
- Evite que el producto llegue a lagos, ríos o fluentes de desagüe.
- Lave con abundancia de agua la zona afectada

AAO 08-2017

NALCO Water
An Ecolab Company

NALCO Water
An Ecolab Company

Figura 26

MSDS Material safety data sheet BT 3000

NALCO Water
An Ecolab Company

NALCO Water
An Ecolab Company

NALCO-BT3000

ALTAMENTE PELIGROSO

- CONTACTO CON LOS OJOS:
Lave con agua durante **15 minutos**.
- CONTACTO POR INHALACION:
Trasladar la persona a un lugar ventilado.
- CONTACTO CON LA PIEL:
Lave con agua, use la ducha (**15 minutos**) inmediatamente quite se la ropa contaminada.
- CONTACTO POR INGESTION:
Lavar la boca y dar de beber 1 ó 2 vasos de agua. No induzca el vomito.

EN TODOS LOS CASOS VISITE AL MEDICO

USE EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

NO INFLAMABLE

- Elija el medio extintor de acuerdo a los demás materiales involucrados en el incendio
- Debe ser calentado previamente antes de incendiarse

Punto de inflamación : >93,3°C

EXTINTOR TIPO

1824

- FORMA: Líquido
- APARIENCIA: Incoloro
- OLOR: Inodoro
- SOLUBILIDAD (EN AGUA) Completa
- 27/03/2017 V 1.1

NALCO DE COLOMBIA LTDA.
Calle 64N No. 5B-146 Ed. Centro Empresa II
Of. 408G
Tel.: 57-2-6658186/89/92 Fax: 57-2-6658194
Cali, Colombia

En caso de emergencia llamar a
CISPROQUIM
TEL. 091-2886012
01-8000-916012

ESTABLE

CONDICIONES QUE DEBEN EVITARSE :

Ninguna Conocida
El contacto con ácidos fuertes. Oxidantes fuertes.

•PRODUCTOS PELIGROSOS DE ESCOMPOSICIÓN
Bajo condiciones de incendio: Oxidos de metal.
Oxidos de fósforo

PELIGRO

ALMACENAMIENTO

- Almacene en recipientes bien cerrados.
- Almacene en un lugar seco, fresco y ventilado.
- Almacene alejado de sustancias y condiciones incompatibles.

EN CASO DE DERRAMES

- Use equipo de protección personal
- Aíse, ventile y señalice el área contaminada.
- Evite el contacto con la sustancia.
- Recoja con materiales absorbentes inertes y proceda a la eliminación de los residuos.
- Evite que el producto llegue a lagos, ríos o flujentes de desagüe.
- Lave con abundancia de agua la zona afectada AAO 08-2017

NALCO Water
An Ecolab Company

NALCO Water
An Ecolab Company

Figura 27

MSDS Material safety data sheet Eliminox

NALCO Water
An Ecolab Company

NALCO Water
An Ecolab Company

NALCO ELIMIN-OX®

MODERADAMENTE PELIGROSO

- CONTACTO CON LOS OJOS:
Lave con agua durante **15 minutos**.
- CONTACTO POR INHALACION:
Trasladar la persona a un lugar ventilado.
- CONTACTO CON LA PIEL:
Lave con agua, use la ducha (**15 minutos**) inmediatamente quítese la ropa contaminada.
- CONTACTO POR INGESTION:
Lavar la boca y dar de beber 1 ó 2 vasos de agua. No induzca el vomito.

EN TODOS LOS CASOS VISITE AL MEDICO

USE EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

NO INFLAMABLE

- No se espera que este producto arda a menos que toda el agua hierva y se evapore. El remanente orgánico puede ser inflamable. Use extinguidores adecuados para el fuego de los alrededores
- Punto de Inflamación : NINGUNO

EXTINTOR TIPO

N.R.

- FORMA: Líquido
- APARIENCIA: Incoloro
- OLOR: Inodoro
- SOLUBILIDAD (EN AGUA) Completa
- 28.10.2016 V. 1.0

NALCO DE COLOMBIA LTDA.
Calle 18 No. 35-280
Tel.: 57-5-3748887 Ext. 110
Soledad, Atlántico, Colombia

En caso de emergencia llamar a
CISPROQUIM
TEL. 091-2886012
01-8000-916012

ESTABLE

CONDICIONES QUE DEBEN EVITARSE :
Ninguna Conocida.

MATERIALES QUE DEBEN EVITARSE :
El contacto con oxidantes fuertes

PRODUCTOS PELIGROSOS DE DESCOMPOSICIÓN :
Bajo condiciones de incendio: Óxidos de carbono,

ATENCION

ALMACENAMIENTO

- Almacene en recipientes bien cerrados.
- Almacene en un lugar seco, fresco y ventilado.
- Almacene alejado de sustancias y condiciones incompatibles.

EN CASO DE DERRAMES

- Use equipo de protección personal
- Aísle, ventile y señalice el área contaminada.
- Evite el contacto con la sustancia.
- Recoja con materiales absorbentes inertes y proceda a la eliminación de los residuos.
- Evite que el producto llegue a lagos, ríos o flujentes de desagüe.
- Lave con abundancia de agua la zona afectada AAO 08-2017

NALCO Water
An Ecolab Company

NALCO Water
An Ecolab Company

Control químico en la preservación húmeda del HRSG

El secuestrante de oxígeno contribuye en la eliminación total del oxígeno del agua. Por su parte, la Amina es un neutralizante de CO₂ e impide la formación de sustancias ácidas que bajan el pH en las tuberías de vapor y condensado. En la **figura 28** se definen los rangos a seguir para la apropiada preservación de la caldera.

Figura 28*Rangos de control de la caldera en preservación húmeda*

Parámetro	Alimentación	Domos			Vapores		
		HP	IP	LP	HP	IP	LP
pH	8.0 – 9.2	9.5 - 10	9.5 - 10	9.5 - 10	8.2 – 9.5	8.2 – 9.5	8.2 – 9.5
Conductividad μS/cm	< 10	< 100	< 100	< 100	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Sílice, ppb	< 10	< 1000	< 1000	< 1000	< 10	< 10	< 10
Fosfato, ppm	-	2 - 4	2 - 4	-	-	-	-
EliminOx, ppb	800 – 1200	-	-	-	-	-	-
Hierro, ppb	< 10	< 500	< 500	< 500			
Sodio, ppb	-	-	-	-	< 5	< 5	< 5

Con el diseño automatizado del proceso se pueden mantener mejor los rangos de control, consiguiendo evitar los problemas derivados de la mala preservación como son: aguas neutras, alcalinas, corrosión, incrustación y ensuciamiento por contaminación. (ASME, 2007)

Aguas neutras

Componen su formación una alta concentración de sulfatos y cloruros que no aportan al agua tendencias ácidas o alcalinas, o sea que no alteran sensiblemente el valor de pH.

Aguas alcalinas

Las forman las que tienen importantes cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio, las que proporcionan al agua reacción alcalina elevando en consecuencia el valor del pH presente.

Los gases disueltos en el agua, provienen de la atmósfera, de desprendimientos gaseosos de determinados subsuelos, y en algunas aguas superficiales de la respiración de organismos animales y vegetales. los gases disueltos que suelen encontrarse son el oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico presente procede de la atmósfera arrastrado y lavado por la lluvia, de la

respiración de los organismos vivientes, de la descomposición anaeróbica de los hidratos de carbono y de la disolución de los carbonatos del suelo por acción de los ácidos, también puede aparecer como descomposición de los bicarbonatos cuando se modifica el equilibrio del agua que las contenga.

El gas carbónico se disuelve en el agua, en parte en forma de gas y en parte reaccionando con el agua para dar ácido carbónico de naturaleza débil que se disocia como ion bicarbonato e ion hidrógeno, el que confiere al agua carácter ácido.

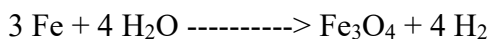
Corrosión

Para que esta aparezca, es necesario que exista presencia de agua en forma líquida, el vapor seco con presencia de oxígeno no es corrosivo, pero los condensados formados en un sistema de esta naturaleza son muy corrosivos.

En las líneas de vapor y condensado, se produce el ataque corrosivo más intenso en las zonas donde se acumula agua condensada. La corrosión que produce el oxígeno, suele ser severa, debido a la entrada de aire al sistema, a bajo valor de pH, el bióxido de carbono abarca por sí mismo los metales del sistema y acelera la velocidad de la corrosión del oxígeno disuelto cuando se encuentra presente en el oxígeno.

El oxígeno disuelto ataca las tuberías de acero al carbono formando montículos o tubérculos, bajo los cuales se encuentra una cavidad o celda de corrosión activa: esto suele tener una coloración negra, formada por un óxido ferroso- férrico hidratado.

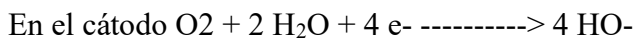
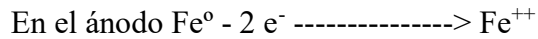
Una forma de corrosión que suele presentarse con cierta frecuencia en calderas, corresponde a una reacción de este tipo:



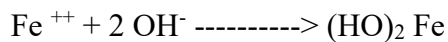
Esta reacción se debe a la acción del metal sobre calentado con el vapor.

Otra forma frecuente de corrosión suele ser por una reacción electroquímica, en la que una corriente circula debido a una diferencia de potencial existente en la superficie metálica.

Los metales se disuelven en el área de más bajo potencial, para dar iones y liberar electrones de acuerdo con la siguiente ecuación:

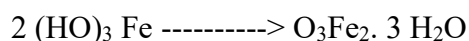
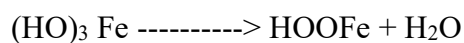
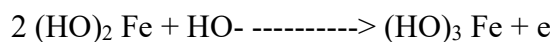
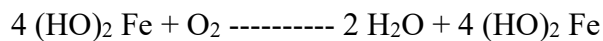


Los iones HO⁻ (oxidrilos) formados en el cátodo migran hacia el ánodo donde completan la reacción con la formación de hidróxido ferroso que precipita de la siguiente forma:



Si la concentración de hidróxido ferroso es elevada, precipitará como flóculos blancos.

El hidróxido ferroso reacciona con el oxígeno adicional contenido en el agua según las siguientes reacciones:



Incrustación

La formación de incrustaciones en el interior de las calderas suele verse con mayor frecuencia que lo estimado conveniente.

El origen de estas está dado por las sales presentes en las aguas de aporte a los generadores de vapor, las incrustaciones formadas son inconvenientes debido a que poseen una

conductividad térmica muy baja y se forman con mucha rapidez en los puntos de mayor transferencia de temperatura.

Por esto, las calderas incrustadas requieren un mayor gradiente térmico entre el agua y la pared metálica que las calderas con las paredes limpias.

Otro tema importante que debe ser considerado, es la falla de los tubos ocasionadas por sobrecalentamientos debido a la presencia de depósitos, lo que, dada su naturaleza, aíslan el metal del agua que los rodea pudiendo así sobrevenir desgarros o roturas en los tubos de la unidad con los perjuicios que ello ocasiona.

Las sustancias formadoras de incrustaciones son principalmente el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice, esto se debe a la baja solubilidad que presentan estas sales y algunas de ellas como es el caso del sulfato de calcio, decrece con el aumento de la temperatura. Estas incrustaciones forman depósitos duros muy adherentes, difíciles de remover, algunas de las causas más frecuentes de este fenómeno son las siguientes:

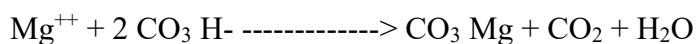
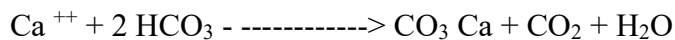
Excesiva concentración de sales en el interior de la unidad.

El vapor o condensado tienen algún tipo de contaminación.

Transporte de productos de corrosión a zonas favorables para su precipitación.

Aplicación inapropiada de productos químicos.

Las reacciones químicas principales que se producen en el agua de calderas con las sales presentes por el agua de aporte son las siguientes:



Ensuciamiento por contaminación

Se consideran en este rubro como contaminantes, distintas grasas, aceites y algunos hidrocarburos, ya que este tipo de contaminación son las más frecuentes vistas en la industria. Dependiendo de la cantidad y característica de los contaminantes existentes en el agua de aporte a caldera, la misma generará en su interior depósitos, formación de espuma con su consecuente arrastre de agua concentrada de caldera a la línea de vapor y condensado, siendo la misma causante de la formación de incrustaciones y depósitos en la sección post-caldera.

La formación de espuma suele ocurrir por dos mecanismos, uno de ellos es el aumento del tenor de sólidos disueltos en el interior de la unidad, los que sobrepasan los límites aceptados de trabajo, la presencia de algunos tipos de grasas y/o aceites (como ácidos orgánicos) producen una saponificación de estas dada la alcalinidad, temperatura y presión existentes en el interior de la caldera.

La contaminación por hidrocarburos agrega a lo visto la formación de un film aislante dificultando la transferencia térmica entre los tubos y el agua del interior de la unidad, agravándose esto con las características adherentes de este film que facilita y promueve la formación de incrustaciones y la formación de corrosión bajo depósito, proceso que generalmente sigue al de formación de depósitos sobre las partes metálicas de una caldera.

Luego de un tiempo, las características físicas del film formado cambian debido a la acción de la temperatura que reciben a través de las paredes metálicas del sistema, lo que hace que el mismo sufra un endurecimiento y "coquificación", siendo este difícil de remover por procedimientos químicos simples.

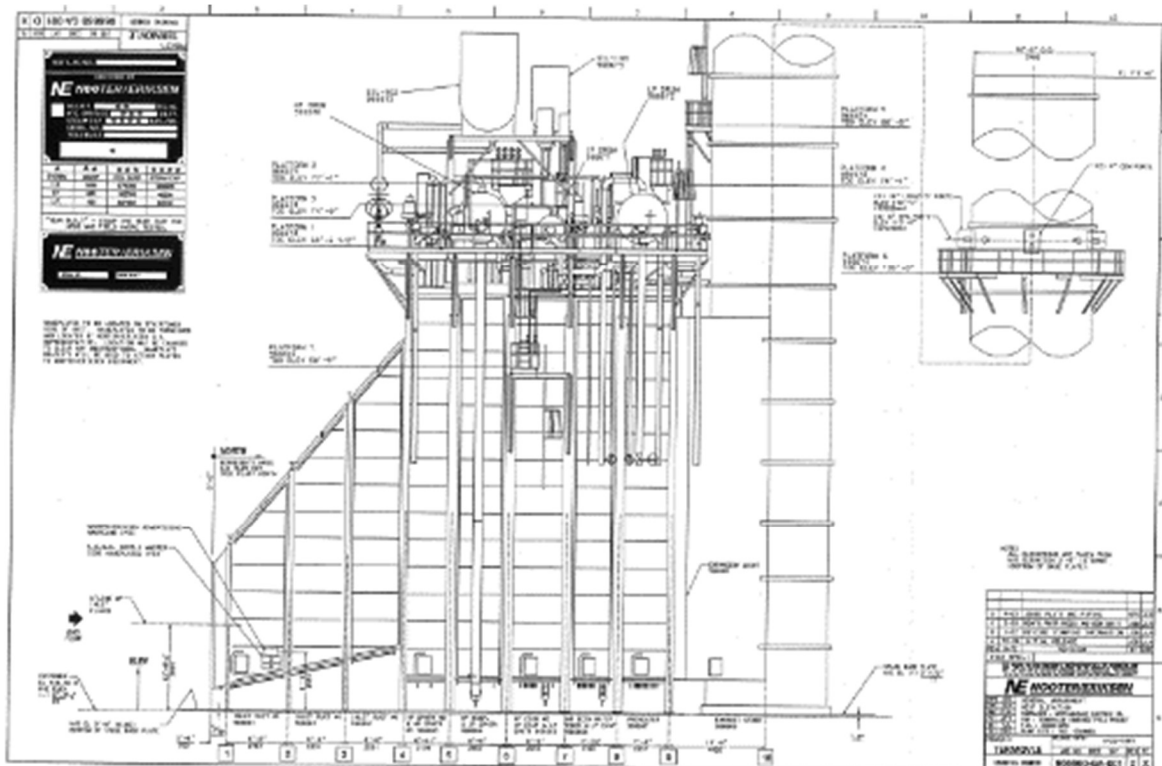
Por todas estas consideraciones, se ve como método más económico y lógico de mantenimiento de calderas, efectuar sobre el agua de aporte a las mismas los procedimientos

preventivos que la misma requiera, evitando así costos de mantenimiento innecesarios y paradas imprevistas en plena etapa de producción con los costos de lucro cesantes que agravan la misma,

Sin pretender que el presente trabajo sea una enumeración exhaustiva y completa de todos los posibles inconvenientes que puedan ocasionar el agua de alimentación a caldera, se considera que el mismo facilita el entendimiento de las principales causas de los más importantes inconvenientes que puedan ocurrir en los sistemas de una caldera.

Figura 29

HRSG fuente nooter eriksen Termovalle



HRSG unidad recuperadora de calor Prime Termovalle. El generador de vapor de recuperación de vapor (HRSG) está diseñado para recobrar calor de desperdicio del exhosto de la turbina de gas (GT) para generar vapor.

El HRSG es una caldera de tipo circulación natural de tres presiones, está diseñado para producir lo siguiente a condiciones nominales de 75°F ambiente, con gas natural y flujo de gas caliente de 3,055,060 lb/hr:

493,960 lb/hr de vapor (HP) de alta presión supercalentado (1486 psig, 958°F)

43,690 lb/hr de vapor (IP) de presión intermedia supercalentado (447 psig, 593°F)

15,990 lb/hr de vapor (LP) de baja presión supercalentado (94 psig, 465°F)

Cada sección de IP y HP consta de secciones de economizador, evaporador y superheater.

La sección de LP produce vapor de LP usando un preheater y superheater de agua de alimentación. El calor es transferido del gas de exhosto, fluyendo horizontalmente a través del ducto, al feedwater y/o vapor fluyendo a través de los respectivos intercambiadores de calor. Un esquema simplificado del HRSG, mostrando las principales válvulas y componentes, se entrega también muestra la distribución y pasos de flujo para todas las secciones de intercambiadores de calor.

Más cerca al exhosto de la GT se encuentra el módulo 1 (superheater de HP No. 2 & No. 1.) más lejos de la fuente de calor está el módulo No. 5, el preheater de feedwater.

Las secciones de intercambiadores de calor se han colocado para maximizar la eficiencia de la aplicación de vapor en particular.

Para permitir que la GT opere independientemente del HRSG, hay instalado un diverter corriente arriba del Superheater de HP. El diverter es operado por un sistema hidráulico. Durante el arranque el diverter se cierra y solo se abre para permitir la operación de ciclo combinado. Durante emergencias de planta de vapor el diverter se cerrará para permitir operaciones continuas del GT.

Talento humano, descripción de perfiles

Tabla 3

Roles y Responsabilidades de los actores del proyecto (Fuente elaboración propia)

ROLES	FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES
coordinador de Proyecto	Encargado de direccionar las labores necesarias para el desarrollo del proyecto
Jefe de área técnica	Encargado de coordinar las labores de aseguramiento técnico, con lo cual se determinará el desarrollo de la actividad para realizar Encargado de coordinar las labores y recursos para la obtención, manejo y consolidación de la información
Jefe de área logística	será el encargado de diligenciar y gestionar los correspondientes permisos de trabajos en el proyecto.
Jefe de área administrativa	Encargado de toda la gestión de recursos, pagos y gestiones financieras.
Jefe de área de recursos Humanos	Encargado de velar por los derechos y deberes de todos los trabajadores dentro del proyecto.
Ingeniero de control	Encargado de los frentes del desarrollo del proyecto e implementación de la lógica de control
Supervisor de instrumentación	Encargado del montaje de los equipos en campo y su respectivo condicionamiento.
Supervisor de almacén	Encargado del control de los recursos físicos necesarios para las actividades
Técnicos de Campo	Encargados de las labores de ejecución técnica del proyecto.
Operadores de	Encargados de realizar las pruebas en sitio de cada uno de

campos	los componentes instalados
Ingeniero de operaciones	Encargado de realizar pruebas funcionales desde la sala de mando coordinados con el operador de campo
Jefe de operaciones	Recibir el proyecto y ejecutar su plan de operación.

Recursos y presupuesto

Tabla 5

Recursos y presupuesto (Fuente elaboración propia)

RECURSO	DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO
Equipo Humano	Personal mantenimiento mecánico; eléctrico y instrumentación de la planta	30.000.000
Equipos y Software	Sistema de control distribuido Ovation versión 3.7.0(Emerson)	Existente en plata
Viajes y Salidas de Campo	Personal en planta	N/A
Materiales y suministros	Equipos de medición PH, sondas de conductividad, medidores de oxígeno disuelto.	80.000.000
Bibliografía	Manuales de mantenimientos de caldera y HRSG nooter eriksen	N/A
TOTAL		110.000.000

Conclusiones

El proceso de recirculación de la caldera es importante en las plantas de generación de energía consideradas como plantas de respaldo ante el sistema interconectado para que ayude a extender la vida útil de la caldera, y evitar paradas por reparación de tubería rotas o con deformación por mala circulación de agua y por baja pasivación de la tubería. El proceso de preservación en este documento enmarca lo importante de mejorar los procesos industriales con implementación de automatismos industrial utilizando los recursos propios de la empresa sin modificar el diseño natural de los equipos, esto se logra con la investigación y simulación de señales antes de colocarla en funcionamiento gracias a las herramientas que posee el sistema de control de la planta.

Con la mejora implementada se concluye que la empresa obtendrá optimización de tiempos en las labores de sus empleados, lo cual retribuye en beneficios económicos porque este tiempo que se perdía en este proceso se podrá utilizar en otras tareas, y evitando los reprocesos ya que todo estará automatizado y controlado.

Según los resultados obtenidos se concluye el uso del sistema de control de la planta para implementar la simulación del proceso, ya que se tenía planeado utilizar otro tipo de simulador o software, pero por temas de reprocesos y luego de migración de señales al DCS Emerson de Termovalle fue más viable y se acortaron los tiempos de simulación y creación de lógicas. Obteniendo así el resultado deseado ya que cada una de las señales que se utilizaron quedaron implantadas y los puntos asignados para la puesta en servicio del proceso. mejorando los conocimientos básicos adquiridos, llevando estos conocimientos a la vida real en la industria.

Con el proyecto se puede concluir que se van a minimizar los riesgos de los operadores, durante el manejo de sustancias químicas, se van a minimizar sin pretender eliminar los riesgos, porque hay factores humanos que no se pueden controlar.

El proyecto ha contribuido de manera muy importante para minimizar los tiempos y riesgos que se tenían el operador de planta al momento de realizar la operación de dosificar los químicos de forma manual utilizando bombas neumáticas. Esto enmarca que con el uso de las herramientas tecnológicas se mejoran los procesos sin impactar en los diseños ya implementados en la planta.

Comprender la importancia de la automatización en la industria y la gran posibilidad de mejoras que existen en los procesos, con ello se puede mejorar la calidad de trabajo de las personas y la optimización de los procesos.

Bibliografía

- ASME. (2007). *Inspection Planing Using Risk- Based Methods*. ASME.
- EIA. (2 de 09 de 2017). *U.S. Energy Information Administration*. Obtenido de <https://www.eia.gov/tools/glossary/index.php?id=H>
- EPRI-USA. (1985). *Manual for Investigation and Correction of Boiler Tube Failures” CS – 3945 G.A.* EPRI-USA.
- Ipocromsa. (2022). <https://www.iprocomsa.com/skid-unidades-modulares-de-procesos/>.
Obtenido de <https://www.iprocomsa.com/skid-unidades-modulares-de-procesos/>
- METTLER TOLEDO. (s.f.). www.mt.com. Obtenido de <https://www.mt.com/int/en/home.html>
- Nalco. (05 de 10 de 2005).
https://files.dep.state.pa.us/water/wastewater%20management/EDMRPortalFiles/Chemical_Additives/MSDS/294.pdf. Obtenido de https://files.dep.state.pa.us/water/wastewater%20management/EDMRPortalFiles/Chemical_Additives/MSDS/294.pdf
- NFPA. (2014). *Standard for fire and explosion prevention during cleaning and purging of flammable gas piping systems*. NFPA 56.
- power, G. G. (18 de 01 de 2022). <https://www.ge.com/gas-power/products/hrsg>. Obtenido de <https://www.ge.com/gas-power/products/hrsg>
- PULSAFEEDER. (s.f.). *PULSAFEEDER*. Obtenido de <https://www.pulsa.com/>
- Renovatec. (2012). <http://www.cicloscombinados.com/hrsg.html>. Obtenido de www.cicloscombinados.com/hrsg.html
- TRABAJO, M. D. (2018).
<https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59676/PROYECTO+DE+RESOLUCIO>

N+POR+LA+CUAL+SE+EXPIDE+EL+REGLAMENTO+TECNICO+DE+CALDERAS
.pdf. Obtenido de

[https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59676/PROYECTO+DE+RESOLUCION+POR+LA+CUAL+SE+EXPIDE+EL+REGLAMENTO+TECNICO+DE+CALDERAS.pdf/1a7449ce-9575-7c61-2173-](https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59676/PROYECTO+DE+RESOLUCION+POR+LA+CUAL+SE+EXPIDE+EL+REGLAMENTO+TECNICO+DE+CALDERAS.pdf/1a7449ce-9575-7c61-2173-499a99f3ad4a#:~:text=Que%20el%20art%C3%ADculo%20113%20de,seguridad%20que%20establezcan%20las%20a)

[499a99f3ad4a#:~:text=Que%20el%20art%C3%ADculo%20113%20de,seguridad%20que%20establezcan%20las%20a](https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59676/PROYECTO+DE+RESOLUCION+POR+LA+CUAL+SE+EXPIDE+EL+REGLAMENTO+TECNICO+DE+CALDERAS.pdf/1a7449ce-9575-7c61-2173-499a99f3ad4a#:~:text=Que%20el%20art%C3%ADculo%20113%20de,seguridad%20que%20establezcan%20las%20a)

twenergy. (08 de 06 de 2019). <https://twenergy.com/energia/energia-electrica/guia-para-entender-el-sistema-interconectado-nacional-colombiano-2233>. Obtenido de <https://twenergy.com/energia/energia-electrica/guia-para-entender-el-sistema-interconectado-nacional-colombiano-2233>: <https://twenergy.com/energia/energia-electrica/guia-para-entender-el-sistema-interconectado-nacional-colombiano-2233>

UNAD. (s.f.). *Reglamento general estudiantil*. Unad.

Anexos

Anexo 1

Certificado de entrenamiento en ovation.



Anexo 2

Certificado en inspecciones de calderera recuperadoras.



