

Diseño e implementación de un sistema de automatización y control de un caldero de vapor saturado para construcciones mecánicas s.a.

Proaño Guevara Roberto Felipe

Lugmaña Raimundo Christian Paul

Facultad de Ingeniería Electrónica, Escuela Politécnica del Ejercito
Av. El Progreso S-N, Sangolqui, Ecuador

Resumen: El presente artículo describe el diseño e implementación de un sistema de automatización y control de un caldero eléctrico de vapor saturado, que servirá para dar funcionamiento a un Bio-fermentador industrial que a su vez depende de otras líneas de servicio para la correcta operación como es una línea de agua blanda, y una línea de aire seco filtrado. El control del sistema se lo realiza de acuerdo a parámetros y condiciones que permitirá activar o no elementos actuadores que mantendrán operativo el sistema según los requerimientos que necesite un operador de planta cuya visualización y monitorización de los estados del sistema se lo realiza mediante un Touch Panel (Panel Táctil) de forma rápida y segura.

Introducción

La definición de caldera industrial señala que son dispositivos empleados para calentar agua o generar vapor a una presión muy superior a la atmosférica, las calderas industriales cuentan con un compartimiento en donde el combustible se consume, mientras que en otro compartimiento se coloca el agua que luego se convertirá en vapor.

A lo largo de la historia desde la antigua Alejandría hasta la presente fecha máquinas de vapor alternativas de variada construcción se han diseñado de acuerdo a la necesidad y han sido usadas durante muchos años, como agente motor, pero han ido perdiendo gradualmente terreno frente a las turbinas. Entre sus desventajas está la poca velocidad y (como consecuencia directa) el mayor peso por Kw de potencia; necesidad de un mayor espacio para su instalación e inadaptabilidad.

Al ser una maquina que soporta altos niveles de presión, es construida en parte con acero inoxidable a semejanza de muchos contenedores de gas. Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, la caldera es muy utilizada en la industria, para fines como esterilización, calentar fluidos, generación de electricidad y cualquier requerimiento que dependa de vapor en la industria en general.

Calderas Industriales

Creadas inicialmente por necesidades de vaciar el agua que inundaba a las canteras y posteriormente utilizada para accionar bombas y cilindros verticales

muy importantes e impulsoras en la revolución industrial debido a las muy amplias aplicaciones que se le puede al vapor es muy útil en la industria en aplicaciones como esterilización para instrumentación médica, autoclaves, calentar fluidos, generar electricidad en las centrales termoeléctricas. [1]

Principalmente la filosofía de funcionamiento radica que la mayor parte de la energía calórica generada se transfiera al medio líquido procurando la mayor eficiencia energética por cuestiones de inversión técnica y económica y las formas más comunes para hacerlas son por combustión pero por cuestiones de medio ambiente la más amigable a plazo será mediante la energía eléctrica. Y como en todo proyecto hay que considerar economía, capacidad de generación, tipo de control, normas de seguridad industriales, tiempo de vida útil.[2]

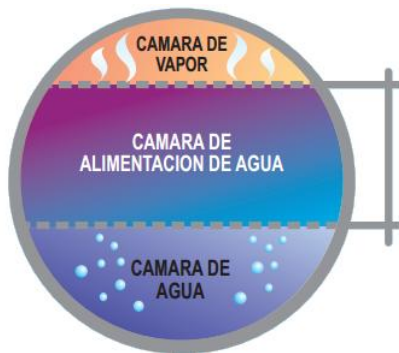


Figura 1. Cámara Interior Caldero

A breve rasgo la idea de una cámara de vapor independiente de la forma de la generación de vapor tendrá en su interior (Fig. 1) una sección de cámara de agua

una sección de alimentación de agua y una cámara de vapor de agua. Básicamente si se cumple estas condiciones y obviamente con los respectivos elementos de control e instrumentación se lograra obtener vapor saturado. Principalmente al ser el agua el medio vital del cual depende todo el proceso de generación de vapor se debe tener en cuenta que a medida que la temperatura se incremente la vaporización y por ende aumenta la presión de vapor, hay consideraciones de entalpia del medio en este caso el agua que ayuda a conocer con determinados valores de presión su temperatura y evaporación que son útiles a tomar en cuenta en medidas posteriores como se muestra en la Tabla 1.

Presión Relativa	Presión Absoluta	Temperatura	Entalpia Especifica			Valor Especifico Vapor
			Agua (hf)	Evaporación (hfg)	Vapor	
bar	bar	°C	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	m3/kg
0	1,013	100	419	2257	2676	1,673
0,2	1,213	105,1	440,8	2243,4	2684,2	1,414
0,4	1,413	109,55	459,7	2231,3	2691	1,225
0,6	1,613	113,56	476,4	2220,4	2696,8	1,083
0,8	1,813	117,14	491,6	2210,5	2702,1	0,971
1	2,013	120,42	505,6	2201,1	2706,7	0,881
1,2	2,213	123,46	518,7	2192,8	2711,5	0,806
1,4	2,413	126,28	530,5	2184,8	2715,3	0,743
1,6	2,613	128,89	541,6	2177,3	2718,9	0,689
1,8	2,813	131,37	552,3	2170,1	2722,4	0,643
2	3,013	133,69	562,2	2163,3	2725,5	0,603
2,2	3,213	135,88	571,7	2156,9	2728,6	0,568
2,4	3,413	138,01	580,7	2150,7	2731,4	0,536
2,6	3,613	140	589,2	2144,7	2733,9	0,509
2,8	3,813	141,92	597,4	2139	2736,4	0,483
3	4,013	143,75	605,3	2133,4	2738,7	0,461
3,2	4,213	145,46	612,9	2128,1	2741	0,44
3,4	4,413	147,2	620	2122,9	2742,9	0,422
3,6	4,613	148,84	627,1	2117,8	2744,9	0,405
3,8	4,813	150,44	634	2112,9	2746,9	0,389

Tabla 1. Vapor saturado presión, entalpia

Además se debe considerar nuevamente al ser el agua el principal elemento de la caldera para mejorar condiciones de vida útil del equipo y de toda la instrumentación es necesario tener un sistema de ablandamiento de agua que ayuda a eliminar materias solubles en suspensión, eliminación de niveles de dureza del agua (minerales, calcio, hierro) protegiendo así la corrosión de los metales de las calderas y tuberías de distribución a los distintos elementos que dependan de la misma.

Clasificación general de calderas

Existen varias formas de clasificación ya sea si es del tipo estacionario o móvil, debido a condiciones de presión de trabajo que pueden ser baja, media y de alta presión y las común según la circulación del agua y de los gases en la zona de los tubos piro tubulares y acuo tubulares.

Un caldero del tipo Piro tubular de disposición horizontal en su interior acumula paquetes tubulares de transmisión de calor y una cámara superior de acumulación de vapor, la cámara y los tubos están rodeados de agua, su principal característica radica es su volumen y su alta capacidad, sencillez de construcción y los varios pasos antes de desfogar el vapor pero por su tamaño hay que tener cuidado con fugas que originen explosiones.

Un caldero del tipo Acuo tubular el agua está dentro de los tubos ubicados

longitudinalmente en el interior y se emplea de esta forma para aumentar la superficie de calefacción en su parte superior e ingresar agua fría por la parte inferior. Y su principal ventaja radica en las altísimas capacidades de generación, es una caldera inexplosible y su eficiencia térmica esta por arriba de cualquier caldera de tubos de humo debido a su gran numero de pasos.[3]

Y una caldera eléctrica en la cual está enfocada que la energía que latente (electricidad) cede su poder calórico a una resistencia, la cual lo transfiere al agua del caldero según la sofisticación tendrá un tipo de control y distribución de vapor.



Figura 2. Caldero Eléctrico Industrial (Fulton)

Como se muestra en la figura 2 un caldero eléctrico de vapor puede haber desde una línea de gama baja hasta una gama medianamente alta que va desde los 12Kw hasta los 1000Kw (1,2 a 100BHP). Su configuración horizontal o

vertical es independiente su principal ventaja a todo caldero es que no presenta desperdicio de combustibles fósiles y son mas amigables con el medio ambiente.

Diseño de Hardware

Para la consecución del proyecto es indispensable fusión de varios componentes y toda la instrumentación necesaria para poder medir y provocar una acción cuando sea requerida.

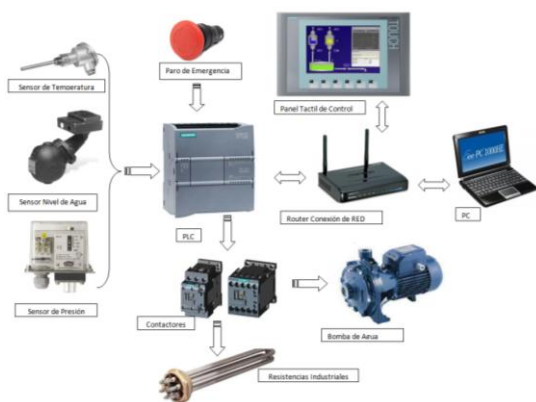


Figura 3.Arquitectura del Proyecto

En la figura 3 se muestra abreviada los componentes utilizados en el presente proyecto. Entre las cuales se destaca un sensor de temperatura RTD (PT100) el cual será útil para un control de temperatura del tipo On/Off, en el cual el sensor estará midiendo y la comparara con una señal interna deseada (Set Point) y ajustar la salida para los valores deseados como tan cerca sea posible permitiendo cierta variación dentro un rango de histéresis.

Un controlador de nivel agua McDonnell que controlara la variable que dependa del nivel de agua hay muchas técnicas y elementos a usarse como elementos por Desplazamiento (flotador), presión diferencial, por sensores (Capacitivo Inductivo, Ultrasonido), etc. Para el presente caso un controlador McDonnell es un flotador el cual sobre un interruptor eléctrico que da un estado de activación o no, que conectado junto a un indicador de nivel ayuda en la visualización de la cantidad de agua que posee la caldera impidiendo así la activación o no de las resistencias eléctricas mientras no exista la suficiente agua en la caldera.

Controladores de Presión (Presostato), en un caldero de vapor la presión del vapor que se genera a la salida es la variable sobre la cual actúa el dispositivo accionando dispositivos de parada o arranque dependiendo si las presiones de operación han sido o no satisfechas.

Por lo general puede ser del tipo proporcional, o proporcional mas flotación reset este dispositivo el movimiento es directamente proporcional al cambio de presión entre los limites altos y bajo, tiene definidos puntos de operación como (CUT IN) para la conexión y (CUT OUT) para la desconexión los cuales están ajustados para iniciar su acción cuando la presión se reduce aun valor mínimo preestablecido en en control y termina su

acción cuando la presión aumenta hasta un valor máximo determinado.

Controlador Lógico Programable dispositivo utilizado para controlar basándose en una lógica de programación a través de un determinado software mediante un PC para su funcionamiento se necesita una fuente de alimentación, una unidad central de procesos donde se realiza todas las operaciones y funciones cuando se leen datos de las interfaces de entrada y aplicar una ejecución en los respectivos módulos de salida, presenta ventajas al evitar cableados y tarjetería electrónica, es modular, tiene altas velocidades de transmisión y apto para trabajar en condiciones industriales severas. Para el presente proyecto se usa la línea Siemens (S7-1200)

Router Trendnet, este dispositivo encaminador sirve para interconectar redes de ordenadores o dispositivos permitiendo el enrutamiento de paquetes entre redes para el caso conectar una PC, PLC, y un Panel táctil y así puede mostrar y recibir información a un determinado usuario la monitorización del estado en determinadas variables, como toda red hay que tener ciertas consideraciones de configuración conexión y políticas de seguridad.

Elemento Calefactor, como todo caldero requiere un elemento que proporcione la energía necesaria para lograr la

generación de vapor , una resistencia eléctrica industrial para un caldero de 5HP llevándola a términos de potencia es similar a 3,75Kw por lo tanto para igualar deberá ser un mínimo del doble de la potencia para poder generar vapor saturado. Como todo elemento hay consideraciones de materiales y potencia de fabricación, tamaño y tensión de alimentación.

Bomba de Agua, el suministro de agua al caldero se realiza con una bomba de agua de tal forma que la alimentación de agua sea de forma continua y el nivel del mismo sea relativamente constante y la cantidad de ingreso de agua al caldero sea igual a la cantidad de vapor producido más el flujo de agua de purga en un determinado tiempo. Para la adquisición de la misma se debe considerar que la presión de operación tiene que ser ligeramente superior a la máxima presión de vapor que podría alcanzar el vapor en condiciones extremas es decir que sea superior a la presión de accionamiento de la válvula de seguridad para el presente caso es una bomba de agua 2HP/220v con un caudal de ingreso hasta 160l/min y a una temperatura de operación de hasta 90°C.

De igual forma para los accesorios y dispositivos de instrumentación hay que tener cuidado en las normas de instalación y consideraciones de seguridad, principalmente en los tableros, gabinetes, armarios eléctricos

de baja y media tensión para ello usando elementos de protección, elementos de seguridad y todas las respectivas indicaciones que son guiadas por normas y entes regulatorios como IEC y NEMA para dispositivos mecánicos. [4]

Potencia:	5 hp (50kw)
Presión nominal de trabajo:	70 psi
Presión Máxima de Trabajo:	90 psi
Presión mínima de Trabajo:	60 psi
Presión de alivio de seguridad:	90 psi
Capacidad de almacenamiento del tanque:	160 libras/hora
Tipo de Control:	automático PLC
Tipo de generación:	vapor saturado
Nivel Máximo del liquido:	80% del volumen total del tanque
Nivel mínimo del liquido:	70 % del volumen total del tanque
Nivel crítico del liquido:	60% del volumen total del tanque

Figura 4. Especificaciones del Caldero

Como se indica en la figura 4, algunas de las especificaciones que se debe tener en cuenta ya sea para cálculos y dimensionamientos de volúmenes útiles de trabajo y el porcentaje efectivo que se necesitara ya en operación.

Diseño de Software

Para poder una optima solución de acuerdo a líneas de programación a incluir en el PLC es necesario el conocimiento del proceso a controlar que se lo puede esquematizar en un determinado diagrama de flujo. Pero de forma secuencial la podríamos esquematizar de la siguiente forma:

- Activación del caldero, comprobación del nivel adecuado de agua.

- De ser necesario ingreso de agua se enciende la bomba de agua para mantenerlo en un nivel adecuado determinado por el sensor de nivel.
- Con ayuda del controlador de presión de acuerdo a condiciones de presión si es menor a 70PSI se activa las resistencias eléctricas.
- Verificando la temperatura del pre calentador por medio del sensor de temperatura para así ingresar agua no fría al caldero y evitar choques térmicos en el interior.

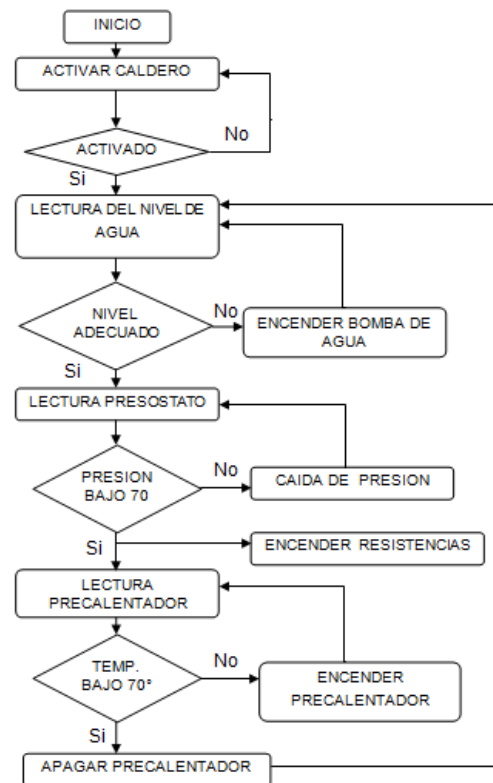


Figura 5. Diagrama de Flujo Proceso

Como se puede observar en la figura 5, es la secuencia que debe seguir el diseño del programa del PLC cumpliendo parámetros de

configuración que para la línea Siemens se realiza esto en el portal TIA v11.

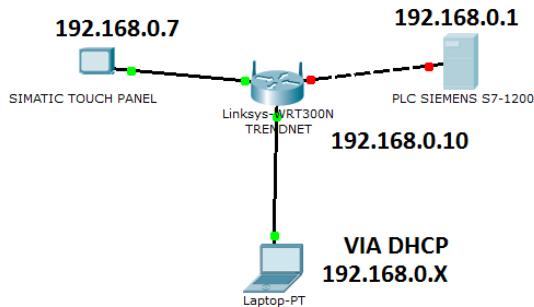


Figura 6. Esquema Profinet PLC-PC-Panel Táctil

Como se muestra en la figura 6, toda la comunicación para cargar o descargar información hacia cada uno de los componentes dependerá de un red tipo Ethernet, es importante configurar todos los dispositivos dentro un mismo rango de red por que de esto depende mucho el agregar módulos y cargar configuraciones o versiones de software para cada uno de los elementos de la línea Siemens.

Diseño HMI, en el diseño de la interfaz la idea principal es que su manejo no requiera entrenamiento del operario sino mas bien solo lo estrictamente necesario para la visualización del proceso para el caso particular el panel táctil (KTP 600), es muy amigable con el usuario permitiendo asi configurar hora y fecha del modulo, estado del sistema y botones de funciones.

Implementación

Al ser un sistema eléctrico lo indispensable es considerar la fuente de suministro eléctrico lo más estable y confiable con la siguiente descripción 120/208 VAC – Y – 4H – 3Ø, además hay que tener mucho cuidado al momento de conectar todas las cargas hacerlo de tal forma que el sistema se encuentre balanceado.

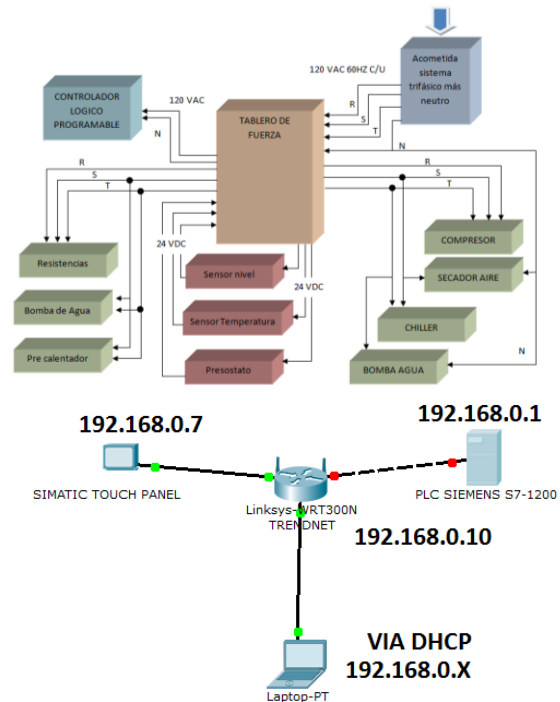


Figura 7. Esquema Bloques por Consumo Energético

Teniendo la acometida trifásica instalada y lista se puede proceder a la instalación del caldero en su sitio sin olvidar que para la generación de vapor se necesita servicios complementarios que abastecerán a los servicios básicos los cuales son:

- Sistema de ablandamiento de agua para abastecimiento al caldero

- Tanque de condensado
- Bomba de alimentación de agua



Figura 8. Caldero y Tablero fuerza

Resultados

Este segmento no solo se refiere a la producción de vapor generado por el caldero eléctrico, sino que toma en cuenta también los consumos de energía y la óptima programación en base a la secuencia del proceso. Para resumir se empieza con el sistema de pre-calentado del agua, la finalidad es permitir el ingreso de agua blanda a temperatura promedio de 50°C, y evitar el ingreso de agua fría de forma directa al caldero permitiendo así un ahorro del consumo eléctrico pues al ingresar el agua a una temperatura superior a la promedio no se necesitara un consumo de energía eléctrica extra para obtener vapor y generar las presiones deseadas.

Como se puede observar en la figura 6, de acuerdo a intervalos de ingreso de agua del precalentador al caldero se podría establecer una linealidad de tiempo y temperatura alcanzada en la primera carga en la cual va a tener un

retardo considerable por iniciar el sistema pero según transcurren las cargas y los elementos calefactores se encuentran a su máxima potencia la relación tiempo vs temperatura tiende a ser menor.

- MEDIDAS PRECALENTADOR		
INGRESO PRIMER VOLUMEN DE AGUA		
A	- 18h55 PM	- 15°C
B	- 19h15 PM	- 28°C
C	- 19h20 PM	- 29°C
D	- 19H30 PM	- 32°C
19H32PM	- ENCENDIDO BOMBA DE AGUA INGRESO DE PRIMER VOLUMEN DE AGUA (79,34 litros) AL CALDERO ELECTRICO	
INGRESO SEGUNDO VOLUMEN DE AGUA		
E	- 19h40 PM	- 15°C
F	- 19H45 PM	- 25°C
G	- 20H05PM	- 35°C
20H10 PM	- ENCENDIDO BOMBA DE AGUA INGRESO DE SEGUNDO VOLUMEN DE AGUA (79,34 litros) AL CALDERO ELECTRICO	
INGRESO TERCER VOLUMEN DE AGUA		
H	- 20H10 PM	- 15°C
I	- 20H20 PM	- 20°C
J	- 20H30 PM	- 26°C
K	- 20H35 PM	- 30°C
20H35 PM	- ENCENDIDO BOMBA DE AGUA INGRESO DE TERCER VOLUMEN DE AGUA (79,34 litros) AL CALDERO ELECTRICO	
20H35PM	- ENCENDIDO CALDERO ELECTRICO	

Figura 6. Medidas Precalentador

Conclusiones

Se ha descrito una forma de un sistema remoto de monitorización y control del suministro de vapor saturado mediante un caldero para el normal funcionamiento de un Bio-fermentador industrial bajo los requerimientos deseados, además del accionamiento de un compresor y de un chiller (sistema de frío) evaluando el desempeño del sistema mediante una secuencia de activación de las resistencias del caldero que hacen que la mayor parte de la energía calórica se

transfiera al medio líquido, logrando así una eficiencia energética que satisface la inversión técnica y económica del proyecto.

Se logro generar vapor a alta presión bajo normas de seguridad para un proceso biológico industrial, con un sistema de monitoreo y control remoto de fácil acceso y de muy intuitivo manejo, sin que el operador tenga conocimientos previos acerca del proceso.

Referencias

[1]<http://www.sistemascalefaccion.com/calderas/industriales.html>

[2]<http://www.scribd.com/doc/56698312/Anonimo-Historia-de-Los-Inventos-V1-0>

[3]<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1/CD-0307.pdf>

[4]http://www.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/archivos/200907/ET_Lic_33.pdf

Biografías Autores



C. Paul Lugmaña nació en Quito, Ecuador, un 13 de Diciembre 1987 inicio su vida estudiantil cursando sus estudios secundarios en el I.T.S."Central Técnico", para de forma posterior realizar sus estudios de pregrado en la ESPE en la carrera

de Automatización y Control. Entre los campos de interés esta la línea de Redes realizando cursos en la línea CISCO terminado la curricula respectiva.



Roberto Proaño nació en Quito, Ecuador, un 10 de Julio de 1987 inicio su vida estudiantil cursando sus estudios secundarios en el Colegio Borja N°3, posteriormente realizar sus estudios de pregrado en la Escuela Politécnica del Ejercito en la carrera de Automatización y Control. Actualmente se desempeña como gerente de una corporación dedicada a buscar la eficiencia energética.