

# Implementación de un sistema automático de reporte de los parámetros de caldera de una planta azucarera.

*Implementation of an automatic system for reporting the boiler parameters of a sugar industry.*

Ing. Jefferson Vladimir Andrade Villarreal <sup>1\*</sup> & Ing. Luis Hernán Álvarez Játiva <sup>2</sup>

1.\* Maestría en Diseño Mecánico. Universidad Técnica del Norte – FICAYA, Ibarra, Ecuador.

Email: [jvandrdev1@utn.edu.ec](mailto:jvandrdev1@utn.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4302-745X>

2. Maestría en Energías Renovables en Sistemas Eléctricos. Universidad Técnica del Norte – FICAYA, Ibarra, Ecuador.

Email: [lhalvarezj@utn.edu.ec](mailto:lhalvarezj@utn.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5731-5965>

Destinatario: [jvandrdev1@utn.edu.ec](mailto:jvandrdev1@utn.edu.ec)

Recibido: 16/Diciembre/2021

Aceptado: 14/Enero/2022

Publicado: 28/febrero/2022

**Como citar:** Andrade Villarreal, J. V., & Álvarez Játiva, L. H., (2022). Implementación de un sistema automático de reporte de los parámetros de caldera de una planta azucarera. E-IDEA Journal of Engineering Science, 4 (9), 26-40. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id225>

**Resumen:** Las calderas acuotubulares, comúnmente empleadas en la mayoría de los procesos en la producción de azúcar proveniente de la caña de azúcar, así como la generación de energía eléctrica por medio de turbinas. La automatización de los procesos de producción de azúcar ha permitido optimizar la eficiencia de las calderas; sin embargo, los sistemas de control empleados se reflejan únicamente en pantallas de Windows dentro la empresa. Se propone la implementación de un sistema automático de reporte de los parámetros de caldera de una planta azucarera mediante dispositivos móviles para facilitar la supervisión y seguimiento de tales parámetros empleando como bases los sistemas que permiten controlar y supervisar los procesos de combustión en las calderas, como lo son: PLC, DCS y SCADA, Aspen Plus V10 que pueden integrarse y comunicarse entre sí, mediante una red Ethernet, para unirlos a una aplicación compatible con dispositivos móviles que permita la supervisión de los parámetros de las calderas en tiempo real.

**Palabras Clave:** Automatización, parámetros de caldera, planta azucarera.

**Abstract:** Water tube boilers, commonly used in most processes in the production of sugar from sugar cane as well as the generation of electrical energy through turbines. The automation of the sugar production processes has made it possible to optimize the efficiency of the boilers, however, the control systems used are only reflected on Windows screens within the company. The implementation of an automatic system for reporting the boiler parameters of a sugar plant through mobile devices is proposed to facilitate the supervision and monitoring of such parameters, using as bases the systems that allow control and supervision of the combustion processes in the boilers, such as they are: PLC, DCS and SCADA, Aspen Plus V10 that can be integrated and communicate with each other, via an Ethernet network, to link them to an application compatible with mobile devices that allows monitoring of boiler parameters in real time.

**Keywords:** Automation, boiler parameters, sugar plant.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, las plantas azucareras han mejorado el proceso de producción de azúcar debido a los avances tecnológicos y científicos del área que han permitido automatizar los procesos y optimizarlos con la finalidad de producir la mayor cantidad de producto con el menor gasto operativo y aprovechamiento de residuos. Para describir el sistema automático que se pretende proponer en esta investigación, es importante y necesario realizar una revisión documental sobre el proceso de producción industrial de la azúcar.

Como es conocido, el azúcar se produce en las hojas de todas las plantas terrestres conocidas, por el proceso llamado fotosíntesis mediante la acción de la luz solar en la combinación de dióxido de carbono y agua en las células que contienen clorofila (Lagos-Burbano y Castro-Rincón, 2019). Sin embargo, ya que la caña de azúcar y la remolacha azucarera almacenan azúcar más abundantemente que las demás plantas, han llegado a constituir las fuentes principales del abasto mundial (Sierra Figueredo et al., 2019).

El proceso de extracción y refinación consiste en separar las sustancias no sacarinas del azúcar que la naturaleza fabrica en la planta. Sea obtenida de la caña de azúcar, de la remolacha azucarera, u otras plantas, la sustancia es el mismo azúcar: la sacarosa. El azúcar refinado es una de las sustancias orgánicas más puras que se conocen. Contiene aproximadamente 99.96% del azúcar que los químicos llaman sacarosa para distinguirla de las sustancias afines que también se llaman azúcares (por ejemplo, la maltosa o azúcar de malta y la lactosa o azúcar de leche) (Vera-Rodríguez et al., 2021).

El residuo de la molienda de la caña, conocido como bagazo final, o simplemente el bagazo, es el material sólido, fibroso, que sale de la abertura trasera del último de los molinos de la batería, después de la extracción del jugo. A pesar de la diversidad de las plantas de molienda y de las máquinas empleadas para ella, la composición física del bagazo varía entre límites bastantes estrechos. Su propiedad más importante, desde el punto de vista de la producción del vapor, es su humedad. Cuando el trabajo de los molinos es deficiente, el contenido de humedad del bagazo será de aproximadamente el 50%, mientras que con un buen trabajo su contenido será del 40%. El bagazo se compone de Carbón = 47 %, Hidrógeno = 6.5 %, Oxígeno = 44 %, Cenizas = 2.5 %, Total = 100 % (Vera-Rodríguez et al., 2021).

El valor calorífico (VC) -cantidad de calor que puede producirse por la combustión de la unidad de peso del combustible en consideración- puede tener dos valores diferentes (Loja y Ullauri, 2022). El valor calorífico superior (producido por la combustión de un kilogramo de combustible, a 0°C y a 760 mm de presión de mercurio) y el valor calorífico inferior (o valor calorífico neto, que supone, por el contrario, que el agua que se forma en la combustión, así como el agua presente en el combustible, permanece en estado de vapor) (Vela, 2022). El valor

calorífico superior indica el calor que puede obtenerse teóricamente del combustible, sin embargo, como en la práctica industrial no es posible reducir la temperatura de los productos de la combustión hasta el punto de rocío, el valor calorífico neto es el que da la indicación más precisa del calor que puede obtenerse realmente. Es entonces este valor el que debe usarse en la práctica; sin embargo, no existiendo ningún medio para determinarlo directamente, debe calcularse.

En este cálculo existe cierta contradicción, ya que los gases de combustión deben reducirse a 0° C y 760 mm, mientras que el agua no debe condensarse. Por convención se opera sustrayendo del valor calorífico superior, tantas veces 600 Kcal. como kilogramos de hidrógeno hay en 1 Kg. de combustible. En esta forma se supone que, en el valor calorífico superior, la condensación toma lugar en las cercanías de 10° C a medida que se enfría a 0° C, según la fórmula  $r = 607 - (0.7 \times 10^\circ) = 600$  Kcal (Téllez-Pol y Soler-Pérez, 2021). A pesar de las diferencias que en apariencia tienen las diversas variedades de caña, el valor calorífico superior del bagazo seco es notablemente constante en todos los países y en todas las variedades de caña. Su valor es el siguiente: V.C.S. = 8280 B.T.U / lb. = 4600 Kcal./Kg.

Los elementos combustibles del bagazo son el carbono y el hidrógeno. Para obtener una combustión completa, sin dejar material no quemado y para que todo el carbón se convierta en CO<sub>2</sub> es necesario proporcionar cierto exceso de aire. La cantidad de CO<sub>2</sub> producida por la combustión de 1 kg. de bagazo seco es constante, porque el contenido de carbono del bagazo se supone también constante (C = 47 % aproximadamente) (Bobadilla, 2019).

Si se emplea la cantidad de aire teóricamente necesaria, el contenido de CO<sub>2</sub> en los gases de la chimenea será máximo; si hay exceso de aire, la cantidad de CO<sub>2</sub> permanecerá constante en un volumen de aire determinado que se hace mayor a medida que el exceso de aire aumenta (Bobadilla, 2019). La proporción de CO<sub>2</sub> disminuirá entonces a medida que el exceso de aire aumente, por lo que debe encontrarse la relación entre esta proporción y el exceso de aire para obtener una combustión eficiente.

Según opiniones de varios expertos y pruebas llevadas a cabo en varios países, se concluye que las mayores eficiencias en las calderas se obtienen cuando el contenido de CO<sub>2</sub> está entre el 12 y el 14 %, así como también, cuando el exceso de aire está entre el 40 y el 60 % (Lam, 2019). La caldera genera vapor para fuerza en procesos industriales o calefacción, por ello, son diseñadas para transmitir el calor procedente de una fuente externa (generalmente combustión de algún combustible), a un fluido contenido dentro de la misma caldera. El líquido debe estar dentro del equipo con las debidas medidas de seguridad. El vapor, o agua caliente, deben ser alimentados en las condiciones deseadas, es decir, de acuerdo con la presión, temperatura y calidad, y en la cantidad que se requiera. Por razones de economía, el calor debe ser generado y suministrado con un mínimo de pérdidas.

La unidad generadora de vapor se compone de un fogón (o cámara de fuego) en el que se quemará el combustible, así como de la caldera propiamente dicha. En las unidades del tipo paquete, tanto como en las grandes centrales de fuerza, están comprendidos también los quemadores de combustible, al igual los controles y accesorios similares. En la definición técnica escueta, se comprende como caldera únicamente el cuerpo que forma el recipiente y las superficies de calefacción por convección (Rubio-González, et al., 2021). Con la aparición de las paredes enfriadas por agua, el fogón, supercalentadores, calentadores de aire y economizadores, se creó el término “generador de vapor”, para dar al equipo una denominación más apropiada.

La capacidad de producción de calor (cantidad de vapor o agua caliente por hora), depende del grado de combustión de combustible en el fogón; la extensión de la superficie de calefacción; la proporción en la que se distribuye la superficie en áreas de calefacción primarias (calor radiante) y secundarias (calefacción por convección) y la circulación del vapor o del agua y la de los gases de la combustión (Madero, 2018). Para mantener la combustión es necesario suministrar cierta cantidad de aire y remover los productos resultantes de dicha combustión, mediante el tiro. Si la acción del tiro natural (efecto de la chimenea) es insuficiente, se utiliza un ventilador (para tiro forzado, tiro inducido o la combinación de ambos) (Crespo y Cruz, 2018). La salida de la caldera puede estar dotada de tapones roscados, o bien de grifos con bridas. Otros orificios se destinan a la colocación de instrumentos, conexiones de agua de alimentación, drenes, purgas, orificios de registro y para otros propósitos por el estilo. El agua es alimentada a la caldera ya sea por gravedad en el retorno (en instalaciones pequeñas) o por una bomba de alimentación.

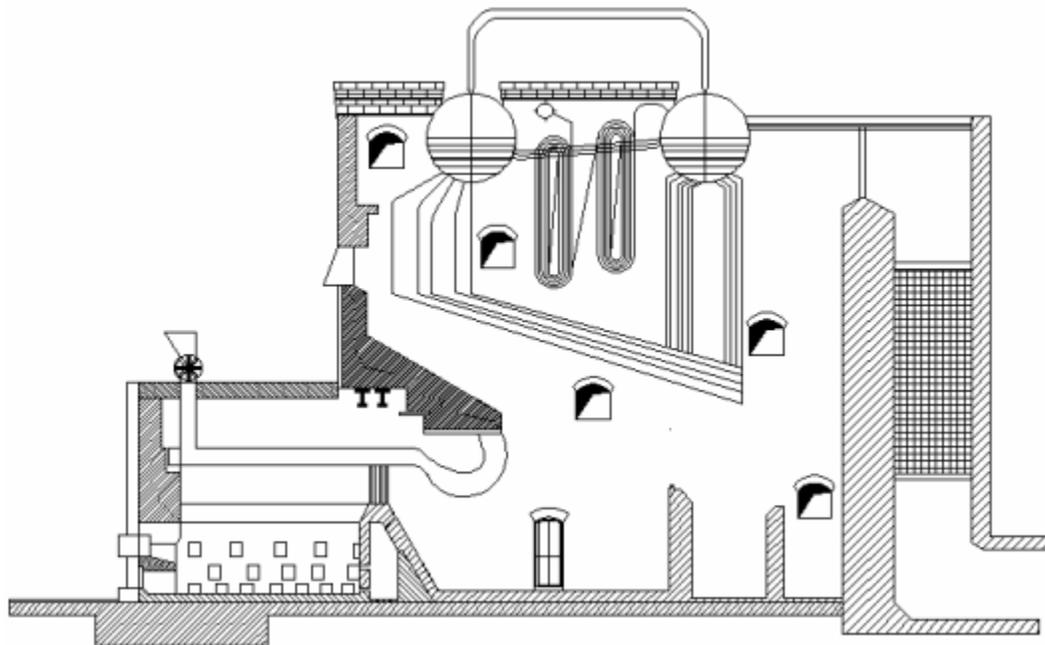
En las calderas de vapor el agua absorbe calor hasta su punto de ebullición. Ya convertida el agua en vapor se acumula en la parte más alta de la caldera, por la diferencia de densidad entre el vapor y el agua. En las calderas de agua caliente (calentadores), el agua se saca cuando ha alcanzado la temperatura deseada. La caldera se alimenta, ya sea en forma continua o intermitente, de tal manera que el nivel se conserve relativamente constante. El agua se mueve dentro de la caldera estableciendo una circulación natural, elevándose en cuanto entra en contacto con la superficie interna de la caldera.

Según Madero (2018) en el caso de la caldera acuotubular, los tubos, que sirven para interconectar los domos, quedan localizados invariablemente en la parte exterior con relación a éstos. Los domos tienen la misión de almacenar agua y vapor; y ya que no necesitan tener ninguna superficie tubular de calefacción, pueden fabricarse en muchos menores diámetros que los cilíndricos de las calderas de tubos de humo y, por consiguiente pueden construirse para soportar presiones más altas. Las calderas acuotubulares pueden ser del tipo de tubos rectos o del tipo de tubos curvados. Los diferentes modelos de calderas de tubos curvados, con mejores características de presión y temperatura, han ido desplazando gradualmente a la caldera de tubos rectos en los servicios de alto rendimiento, de manera que en la actualidad este tipo de caldera se ha generalizado en la industria productora de fuerza.

Por su parte, la caldera de tubos rectos alcanzó una pronta y sólida popularidad por sus costos de producción y montaje favorables, así como por su adaptabilidad a la estandarización y a la técnica de producción en serie. Una de las calderas de tubos rectos más conocidas es la de Babcock & Wilcox (Figura 1), la cual está constituida de grupos de tubos, que por lo general se disponen en forma alternada; los tubos tienen una inclinación (en un ángulo de 5° a 15°) para facilitar la circulación interior y en los extremos están insertados en los cabezales y sujetos a éstos por avellanado. En los cabezales, al lado opuesto de las terminales de los tubos, se colocan registros de mano de tamaño suficientemente amplio para permitir la remoción o renovación de los tubos, o para cepillarlos y limpiarlos interiormente. El vapor y el agua se elevan a lo largo de los tubos inclinados hacia los cabezales frontales, ascendiendo por éstos para elevarse por los tubos de circulación hasta el domo. De aquí pasa el agua a través de los tubos de bajada hacia los cabezales posteriores, de donde entran a los tubos para completar el ciclo.

**Figura 1.**

*Caldera horizontal de tubos rectos Babcock & Wilcox.*



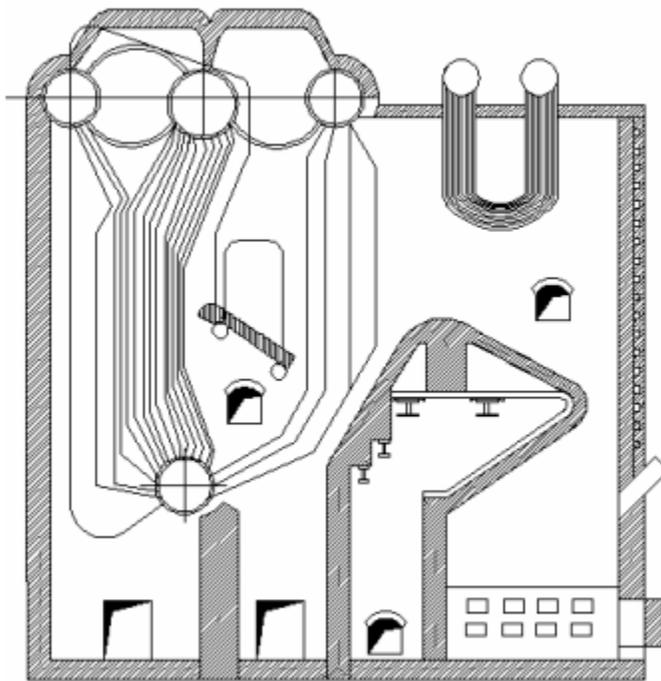
**Fuente:** (Madero, 2018)

La caldera horizontal de tubos rectos, es adaptable para su operación con aceites combustibles, gas, carbón, bagazo o leña. Los métodos de combustión pueden incluir quemadores de aceite o gas y alimentación manual o mecánica. Por otro lado, la caldera de tubos curvados ofrece, frente a la de tubos rectos, mayor economía en la fabricación y operación, mejor acceso

para inspección, limpieza y servicios de mantenimiento, mayor capacidad de evaporación y entrega vapor más seco. La caldera de tubos curvados, es por excelencia una unidad de domos múltiples (Figura 2). Puede tener dos, tres o cuatro; usualmente, tiene un domo abajo y el resto en la parte superior de la caldera.

**Figura 2.**

*Caldera Acuotubular de tubos curvados, cuatro domos.*



**Fuente:** (Madero, 2018)

Los domos superiores son domos de agua y vapor. Aunque reciben el nombre de domos de vapor, en un momento dado alguno de ellos puede estar lleno de agua. Los tubos pueden estar inclinados, o dispuestos en secciones verticales dentro de la cámara de combustión (espacio de combustión), o bien, pueden formar paredes de agua, apoyadas sobre muros refractarios. El tubo curvado permite también la libre expansión y contracción. Los tubos de la caldera y los de las paredes, se soportan generalmente en los domos, a los que están conectados. Las mamparas para la deflexión de los gases se disponen en muchas formas diferentes, conduciendo el flujo de los mismos, transversal o longitudinalmente a través o a lo largo de los tubos, en uno o en varios pasos. Los domos de las calderas acuotubulares están protegidos contra el calor radiante del fuego, y se diseñan de tal manera, que los sedimentos se depositen fuera de la zona de circulación rápida. La caldera de tubos curvados es un vaporizador rápido; su reacción a las fluctuaciones de la carga

es rápida por su volumen relativamente reducido, en comparación con su capacidad generadora de vapor (Casusol, 2019).

La Caldera de Bagazo se compone de chimenea ( medio por el cual salen los gases producidos en la combustión hacia la atmósfera), hogar (cámara en donde se realiza la combustión del bagazo), domo (cámara de presión colocada horizontalmente en la parte superior de la caldera), tiro forzado (aire inyectado por una bomba al interior del Hogar, con el fin de que se realice la combustión eficientemente), y el tiro inducido (gases extraídos del interior del Hogar por medio de una bomba y expulsados por la chimenea) (Barreiro-Cobeña y Murillo-Zambrano, 2021).

Conociendo todos los conceptos relacionados al funcionamiento de las calderas, y debido a la complejidad de factores que se deben tomar en cuenta para la supervisión de la eficiencia de las calderas, se propone la implementación de un sistema automático de reporte de los parámetros de caldera de una planta azucarera.

## METODOLOGÍA

La implementación de un sistema automático de reporte de los parámetros de caldera de una planta azucarera comprende una investigación documental basada en la necesidad de la supervisión continua del rendimiento y eficiencia de los parámetros de las calderas de una planta azucarera. Para facilitar su supervisión y seguimiento de tales parámetros se ha realizado una búsqueda documental de sistemas de automatización que pueden emplearse en dispositivos móviles para garantizar el acceso continuo de los parámetros de las calderas y el desempeño óptimo y eficiente de las calderas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La automatización de los reportes de los parámetros de caldera de una planta azucarera tiene una importancia significativa, porque de su funcionamiento depende el buen desempeño de la industria en cuanto a pérdidas energéticas y la seguridad. En ese sentido, se presentan a continuación los parámetros que se deben tomar en cuenta en el sistema de automatización.

**Figura 3.**

*Diagrama del proceso de combustión.*



**Fuente:** (Herrera y Llerena, 2018)

Según la Figura 3, los parámetros de caldera claves de entrada del proceso son: Entrada GAS GLP, Entrada Vapor (en este caso se cuenta con dos entradas de vapor en paralelo), Entrada de Bunker, Alimentación Bagazo, Entrada de agua, Entrada de aire. En donde el abastecimiento del GAS GLP es determinado por el controlador propio de caldera, los demás parámetros de entrada por su parte son controlados por el diseño de control implementado basándose en el proceso de combustión interna en el caldero. Adicionalmente, se hace uso de diferentes sensores y actuadores tales como transmisores (presión, nivel, temperatura), válvulas, etcétera, la retroalimentación de estos parámetros es vital para el control total del proceso (Herrera y Llerena, 2018).

Por su parte, los parámetros de salida del proceso son: agua de purga, gases de chimenea, vapor a “manifold” y muestra de laboratorio, debido a que son consecuencia del proceso es necesario llevar un control de los mismo, ya que una variación en los mismos puede deberse a una serie de problemas internos tales como pérdidas del proceso, sensores descalibrados, mal uso de los equipos, errores de comunicación, entre otros.

Para el desarrollo de una solución confiable, segura y eficiente se deben estudiar las diferentes variables físicas que conforman el proceso de generación de energía eléctrica a partir de la energía

de la biomasa proveniente de la caldera acuotubular de la planta, las cuales son: presión relativa, presión diferencial, temperatura, flujo, nivel. Al respecto, el sistema de control busca mantener un equilibrio energético, el aumento de la demanda de carga genera un aumento en la demanda de aire, combustible y agua, los lazos de control deben responder de manera rápida ante estas variaciones para ir equilibrando la operación, el aumento de consumo de vapor debe ser compensado con el ingreso de agua y el control debe reaccionar de manera apropiada ante los cambios del proceso (Rubio-González et al., 2018).

En este sistema de control es importante considerar el nivel del domo ya que es el punto de control de mayor importancia en la caldera, valores de nivel del domo fuera del punto de control genera situaciones peligrosas. Para garantizar la seguridad se utiliza una medición de nivel redundante, se utiliza un transmisor de presión diferencial para tener una medida continua del nivel, y un equipo de medición discreta que nos da señales digitales según el nivel medido. El nivel del domo tiene la peculiaridad que al aumentar el caudal de vapor el nivel en el domo tiende a presentar un aumento durante un corto tiempo y al bajar bruscamente la demanda de tiende a bajar por un corto tiempo, lo cual provoca perturbaciones que un lazo de control simple no puede corregir de manera adecuada, y por tanto es necesario implementar un controlador en cascada que ya viene integrado entre los bloques de programación del PLC (Herrera y Llerena, 2018).

Las calderas tienen un sistema autónomo manual para la inyección de combustible a la misma, sin embargo, se puede monitorear la presión y la temperatura para asegurar que están en los rangos de operación de acuerdo con los requerimientos que suministrará la planta. Por ello, el desareador o desgasificador tiene la función de eliminar los gases disueltos (oxígeno y dióxido de carbono) en el agua de alimentación de la caldera para prevenir problemas de corrosión, en él se implementan lazos de control de presión, nivel y temperatura (Solano et al., 2020). El desaereador tiene una entrada de vapor de baja presión, por lo que el ingreso de vapor se regula a través de una válvula automática que trabaja con un posicionador electro-neumático controlado por una señal de 4-20 mA. En este caso se puede implementar un lazo de control PID programado en el PLC que recibe la señal del transmisor de presión y actúa sobre la válvula automática, monitoreando, a su vez la temperatura del agua en el interior del desaereador, por lo que al aumentar la presión existe un aumento en la temperatura del agua y en el PLC se programan alarmas para evitar que la temperatura se eleve a valores no aceptables para el sistema de bombeo de agua de alimentación a la caldera.

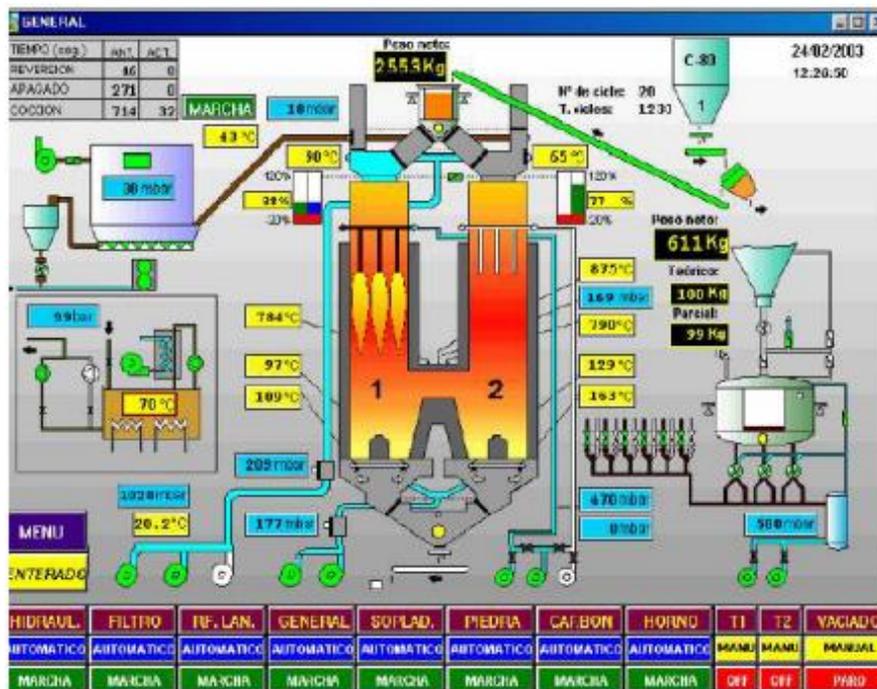
Es muy importante la calidad del agua dentro de la caldera. Se debe mantener los sólidos disueltos en el agua dentro de los valores recomendados por el fabricante de la caldera. El domo superior posee en la parte inferior una purga en la cual se puede instalar una válvula solenoide que se utiliza para regular la calidad del agua. Mediante un control de tres posiciones sobre la válvula, tomado como referencia la medición de conductividad se logra regular esta característica del agua como se muestra en la siguiente ilustración.

La electroválvula permanece normalmente en la posición de servicio. Al aumentar la conductividad sobre los límites la válvula se cambiara de posición para empezar la purga. Cuando la caldera sufre un disparo la electroválvula permanece cerrada. Al poner en línea la caldera, la electroválvula pasa a una posición abierta y después de un tiempo, y si los valores de conductividad están por debajo del valor aceptable, se cambia a la posición de servicio.

Existen varios sistemas que permiten controlar y supervisar los procesos de combustión en las calderas, como lo son: PLC, DCS y SCADA, Aspen Plus V10 (Contreras, 2019) que puede integrarse y comunicarse entre sí, mediante una red Ethernet, y así mejorar en tiempo real, la interfaz al operador. Además de supervisar el proceso, se puede tener acceso al historial de las alarmas y variables de control con mayor claridad, combinar bases de datos relacionadas, en el computador, mediante una plantilla excel, documento word, todo en ambiente Windows.

El sistema SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) permite supervisar y controlar, las distintas variables que se encuentran en un proceso o planta determinada, emplea distintos periféricos, software de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, etc., que permiten al operador mediante la visualización en una pantalla de computador, tener el completo acceso al proceso.

**Figura 4.**  
*Control y Supervisión de un proceso industrial*



Este sistema permite supervisar el control de la planta y no solamente monitorizar las variables que en un momento determinado sino en tiempo real; así como también permite adquirir y almacenar datos, representar gráficamente las variables de proceso y monitorización de éstas por medio de alarmas, ejercer acciones de control para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) como directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

Para el control y programación del SCADA se usan los softwares de SIEMENS: Simatic PDM, Simatic Manager, Simatic WinCC. El sistema SCADA permite el manejo del sistema total, pero básicamente se centra en dos funciones principales, el primero concierne a la alimentación de bagazo a la caldera y la segunda a la alimentación de combustible al mismo (Cruzado, 2019).

El manejo del Sistema SCADA parte desde la activación del proyecto en el sistema operativo en el WinCC Explorer, validación de usuario, una vez validado el usuario se tiene la pantalla de operación de la caldera, el sistema permite los modos de operación local o automática, conocer las condiciones de los equipos vinculados al proceso, acción en caso de falla, así como las tendencias (mediciones analógicas del proceso) almacenadas en un histórico del comportamiento (Guevara y Valverde, 2020).

La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, el cual puede constituir un Sistema de Control Distribuido, PLC's, controladores a Lazo Cerrado o una combinación de ellos. Los sensores y los controles envían datos a los registros de los PLC's o a otros hardware de proceso. El I/O Server es el que proporciona la interfase entre el software SCADA y el hardware de proceso para que los datos de los registros puedan ser leídos. Cada I/O Server soporta un hardware específico, y tiene un manual propio. De forma general, el I/O Server es la herramienta para acceder los datos de los registros del hardware y también para especificar los parámetros de comunicación.

Por su parte, Aspen Plus es un simulador de procesos completamente interactivo, capaz de llevar a cabo tanto simulaciones en estado estacionario como en estado dinámico, permitiendo sus operaciones y propiedades modelar una amplia gama de procesos y predice el comportamiento de un proceso o una serie de operaciones unitarias a través de las relaciones básicas existentes entre las mismas. Se ubica dentro del grupo de simuladores de estrategia secuencial, al igual que otros como PRO II y CHEMCAD (Contreras, 2019)

Una vez que el sistema central de control de parámetros de las calderas de la planta azucarera está correctamente instalado, se plantean como referencia las propuestas de Córdor (2019) y Camino (2020) donde se emplean estos programas de control especificados anteriormente para crear aplicaciones compatibles con dispositivos móviles. Cabe destacar que estas propuestas



refieren a cualquier sistema de control, y no especifican el control de parámetros de calderas de plantas azucareras, debido a que no se consiguieron referencias de esta metodología en el sector azucarero.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreiro-Cobeña, J., & Murillo-Zambrano, H. (2021). Estimación de la generación de energía calórica a partir del bagazo de caña de azúcar mediante simulación. *Polo del Conocimiento*, 6(1), 871-883. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2581>
- Bobadilla, K. (2019). Estudio de la reducción de emisiones de NOx cuando se utiliza bagazo de caña como combustible secundario en la combustión de carbón por medio del proceso de reburn. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/45262>
- Camino, J. (2020). Análisis y diseño de un prototipo para un sistema de control de riego automatizado con monitoreo y alertas a dispositivos móviles utilizando arduino, conectividad BLE y SOFTWARE OPEN source. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48784>
- Casusol, E. (2019). Origen y elaboración agroindustrial de la caña de azúcar. Lima, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN, Facultad de Agropecuaria y Nutrición. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14039/4318>
- Cóndor, D. (2019). Automatización de un sistema de refrigeración industrial mediante un PLC, interface HMI y control remoto desde dispositivos móviles. Quito, Ecuador: Univerisdad Tecnológica Israel. Obtenido de <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2089>
- Contreras, J. (2019). SIMULACIÓN DE UNA CALDERA BAGACERA MEDIANTE EL SOFTWARE ASPEN PLUS PARA DETERMINAR SU DESEMPEÑO ENERGÉTICO. Bucaramanga, Colombia: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA, FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS. Obtenido de <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/7254>
- Crespo, M., & Cruz, E. (2018). Diseño y construcción de una pulverizadora de miel de caña a panela en polvo para la asociación de pequeños productores maquita. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19896/1/CD-9315.pdf>
- Cruzado, M. S. (2019). mplementación de equipos adecuados en la Cogeneración de la Fábrica Azucarera Tumán – Chiclayo. LAMBAYEQUE – PERÚ: UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4372>

- Guevara, M. R., & Valverde, L. (2020). Propuesta de mejora de caldera NR.20 en base a auditoría energética para reducir el costo en la generación de vapor en Agroindustrial Cartavio SAA. Trujillo, Perú: UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO. FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57505>
- Herrera, E., & Llerena, R. (2018). Implementación de un sistema de automatización de una caldera acuotubular para una planta azucarera. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/6904e90d-745f-4257-8e50-b4c7f20059d6/D-CD106506.pdf>
- Lagos-Burbano, E., & Castro-Rincón, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 917-934.
- Lam, J. (2019). Comparación del impacto ambiental en el aire entre bagazo de caña de azúcar y carbón cuando se utiliza como combustible en la caldera de la unidad de negocio de generación o cogeneración de un ingenio azucarero. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/160612607.pdf>
- Loja, M., & Ullauri, N. (2022). La Troncal capital azucarera del Ecuador. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay, Facultad de Filosofía y Ciencias Humanas.
- Madero, I. (2018). ESTUDIO NUMERICO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE UNA PLANTA DE COGENERACIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA. Bucaramanga, Colombia: Universidad Autónoma de Bucaramanga, Facultad de Ingeniería. Obtenido de [https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1471/2017\\_Tesis\\_Madero\\_Luquerna\\_Indira\\_Carolina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1471/2017_Tesis_Madero_Luquerna_Indira_Carolina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rubio-González, A., Rodríguez-Machín, L., Iturria Quintero, P., Lariot Sánchez, C., Rubio Rodríguez, M., Quiroga Fernández, D., . . . García Lovella, Y. (2021). Estudio teórico conceptual sobre la corrosión en zonas de alta temperatura de generadores de vapor de altos parámetros. Villa Claram Cuba: Editorial Feijóo. Obtenido de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/12818/estudios-sobre-corrosion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rubio-González, A., Rubio-Rodríguez, M., & Roque-Díaz, P. (2018). Valoración técnica y económica para el incremento de los parámetros del vapor en ingenios azucareros cubanos. , 45(3), . Recuperado en 24 de junio de 2022, de h. Centro Azúcar, 45(3), 24-31. Obtenido

de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612018000300003&lng=es&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000300003&lng=es&tlng=pt).

Sierra Figueredo, P., Marinero Orantes, E. A., Sol Sánchez, Á., & Zúniga González, C. A. (2019). Producción de azúcar de caña en El Salvador y su relación con la variabilidad de la Actividad Solar y Geomagnética: Un enfoque de la Bioeconomía y el Cambio Climático. *Revista Iberoamericana De Bioeconomía Y Cambio Climático*, 5(10), 1209–1221. Obtenido de <https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REBICAMCLI/article/view/243>

Solano, I., Aguilar, O., Domínguez, C., Ramírez, G., & Aguilar, O. (2020). Evaluación del rendimiento energético del bagazo de caña de un ingenio azucarero vs su aprovechamiento mediante gasificación. *Revista de Iniciación Científica*, 6(1), 30-35. Obtenido de <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.1.2608>

Téllez-Pol, Y. V., & Soler-Pérez, S. (2021). Evaluación energética en UEB Central Azucarero “Urbano Noris” de la provincia de Holguín. *Tecnología Química*. *Tecnología Química*, 41(2), 367-384. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852021000200367&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852021000200367&lng=es&tlng=es)

Vela, N. A. (2022). La transformación de la caña de azúcar en panela orgánica granulada y su impacto económico en los productores de caña de azúcar del Distrito de Campo Verde, Departamento de Ucayali, 2017- 2019. Pucallpa, Perú: Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables. Obtenido de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/5315>

Vera-Rodríguez, J. H., Medranda-Parraga, T. L., Siguencia-Chuya, J. A., Mendieta-Franco, R. A., & Pérez-Guallpa, M. J. (2021). Caracterización nutricional de los residuos orgánicos en la caña de azúcar del cantón La Troncal. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 25(2), 110-119. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/441/4412286013/movil/>