

# Guía Para La Automatización De Calderas Híbridas De 10 A 20 Toneladas Para La Industria De Aceite De Palma Nacional.



Presentado Por:  
Brayan Andres Celis Godoy  
Miguel Aim Garcia Villamiza

Universidad  
Industrial de  
Santander





## Tabla de contenido

• Introducción.	3
• Requisitos Técnicos y Normativos.	4
◦ Normas nacionales.	5
◦ Normas internacionales.	6
◦ competencias necesarias.	6
• Estructura de control modular.	7
• componentes clave en la automatización de calderas.	8
◦ Sistema de combustión y alimentación de biomasa.	9
▪ Lógica de operación.	9
▪ Modo de control.	10
◦ Sistema de alimentación de agua.	11
▪ Lógica de operación.	11
▪ Modo de control.	12
◦ Sistema de control de presión de vapor.	13
▪ Lógica de operación.	13
▪ Modo de control.	14
◦ Sistema de depresión (tiraje inducido).	15
▪ Lógica de operación.	15
▪ Modo de control.	16
◦ Sistema de evacuación de ceniza.	17
▪ Lógica de operación.	17
▪ Modo de control.	18
◦ Sistema de monitoreo.	19
▪ Lógica de operación.	19
▪ Modo de control.	20
◦ Selección de PLC y protocolos de comunicación.	21
◦ Lenguajes de programación del PLC.	23
• Ejemplo de automatización de la caldera.	26
◦ sistema de alimentación de agua.	27
▪ campo.	27
▪ control.	28
◦ Sistema de depresión (tiraje inducido).	30
▪ campo.	30
▪ control.	31
◦ Sistema de control de presión, combustión y alimentación de biomasa.	33
▪ campo.	33
▪ control.	35
◦ Controladores y dispositivos complementarios.	37
◦ Sugerencias en selección de instrumentos.	40
◦ Complementos y sugerencias de programación.	41
• Tipos de pantallas HMI.	44
• HMI de ejemplo.	45
◦ Pantalla de inicio.	45
◦ Pantalla de estados.	46
◦ Pantallas de variables.	46
◦ Ajuste PID.	48
◦ Configuración.	49
◦ Motores.	50
◦ Alarmas y mensajes de precaución.	51
◦ Complementos y sugerencias de HMI.	53

Este manual ha sido desarrollado con un propósito académico, como parte del trabajo de grado de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Industrial de Santander. Su objetivo es servir como una herramienta de consulta útil para estudiantes, profesionales y operarios del sector industrial, interesados en procesos de automatización.

El enfoque principal del documento es la automatización de calderas industriales utilizadas en la industria del aceite de palma, específicamente calderas híbridas con capacidades entre 10 y 20 toneladas de vapor por hora. Se abordan temas como componentes del sistema, normativas aplicables, selección de sensores, y la programación de controladores lógicos programables (PLC) e interfaces HMI.

El contenido se presenta de forma estructurada y práctica, utilizando como ejemplo la automatización de una caldera en una planta extractora de aceite de palma en Colombia. Este enfoque aplicado permite ilustrar cada etapa del proceso, facilitando la comprensión e implementación en entornos reales.



# Requisitos Técnicos y Normativos

4

El cumplimiento normativo en calderas industriales no solo garantiza la seguridad y operatividad de los sistemas, sino que también optimiza la eficiencia energética y contribuye a la reducción del impacto ambiental. La implementación de normativas en la automatización de calderas es clave para asegurar el control preciso de variables operativas, minimizar riesgos y mejorar la sostenibilidad del proceso.

En Colombia, dada su alta producción en la extracción de aceite de palma y el uso intensivo de calderas industriales, se han establecido diversas normativas que regulan su operación y automatización. Estas regulaciones han sido emitidas por entidades como el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente, el Ministerio de Trabajo y el ICONTEC, cada una con responsabilidades específicas en seguridad, eficiencia energética y control de emisiones.

Para este análisis, se consultó la legislación vigente a comienzos del año 2025, reconociendo que las normativas pueden actualizarse con el tiempo.

La automatización de calderas industriales debe alinearse con normativas nacionales e internacionales que regulan distintos aspectos del proceso, desde la seguridad operativa hasta el cumplimiento ambiental. A continuación, se presentan las principales normativas aplicables y su relación con la automatización del sistema.



# Normas Nacionales Aplicables (Colombia)

5

## Reglamento Técnico de Calderas (RTC)

**Entidad: Ministerio de Minas y Energía**  
**Recomendaciones:**

- Define requisitos de seguridad, operación y mantenimiento de calderas industriales.
- Exige certificaciones para calderas nuevas y pruebas de integridad estructural periódicas.
- Establece inspecciones y mantenimiento obligatorio.

**Aplicabilidad en la automatización:**

- Implementar sensores de presión, nivel y temperatura.
- Generar alarmas automáticas por sobrepresión o fallos operativos.

**Entidad: Ministerio de Minas y Energía**  
**Recomendaciones:**

- Define lineamientos para eficiencia energética y reducción de emisiones.
- Exige sistemas de monitoreo continuo en calderas de alto consumo.
- Solicita reportes de consumo de combustible, emisiones y eficiencia térmica.

**Aplicabilidad en la automatización:**

- Incluir medición continua de gases y energía térmica.
- Reporte automático de variables energéticas.

## Resolución 1857 de 2024

## Resolución 909 de 2008

**Entidad: Ministerio de Ambiente**  
**Recomendaciones:**

- Regula límites de emisiones de NOx, SOx, CO y materia particulado.
- Exige implementación de tecnologías para reducir emisiones.

**Aplicabilidad en la automatización:**

- Automatizar el ajuste de aire/combustible.
- Integrar sensores de calidad de gases

**Entidad: Ministerio de Trabajo**  
**Recomendaciones:**

- Establece condiciones de seguridad industrial en ambientes con calderas.
- Define uso obligatorio de EPP y capacitación a operarios.

**Aplicabilidad en la automatización:**

- Asegurar paros de emergencia y señalización de alarmas en HMI.

## Resolución 2400 de 1979



# Normas Internacionales de Referencia

6

## ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)

### Secciones: I y VIII Recomendaciones:

- Estándares de diseño, materiales y límites de presión en calderas.
- Certificación internacional para seguridad estructural.

### Aplicabilidad en la automatización:

- Garantiza que las variables monitoreadas cumplan con los límites definidos por ASME

### Recomendaciones:

- Principios de diseño seguro en sistemas industriales automatizados.
- Identificación, evaluación y reducción de riesgos en maquinaria.

### Aplicabilidad en la automatización:

- Define buenas prácticas de diseño para sistemas de control e interfaces.

## ISO 12100 – Seguridad de Máquinas

### Recomendaciones:

- Establece requisitos para el diseño e implementación de Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS).
- Define niveles de integridad de seguridad (SIL) y métodos de validación.

### Aplicabilidad en la automatización:

- Permite implementar arquitecturas de control seguras y redundantes en calderas automatizadas.

## IEC 61511 – Seguridad Funcional para la Industria de Procesos

### Recomendaciones:

- Establece requisitos para el diseño e implementación de Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS).
- Define niveles de integridad de seguridad (SIL) y métodos de validación.

### Aplicabilidad en la automatización:

- Permite implementar arquitecturas de control seguras y redundantes en calderas automatizadas.

## Competencias necesarias

- **Conocimiento del funcionamiento de calderas** (pirotubulares, acuotubulares, mixtas, etc.).
- **Manejo de instrumentos de medición** (presión, temperatura, nivel, flujo).
- **Lectura e interpretación de planos e instrucciones técnicas.**
- **Mantenimiento básico de calderas y sus componentes** (limpieza, purgas, revisión de válvulas y quemadores).
- **Comprensión de sistemas de control y automatización** (PLC, HMI, sensores).
- **Aplicación de protocolos de seguridad industrial** (uso de EPP, manejo de emergencias, prevención de explosiones).
- **Identificación y respuesta ante fallos o condiciones anómalas** (sobrepresión, bajo nivel de agua, fallos de llama, etc.).

# Estructura de Control Modular

7

Una caldera es un equipo térmico diseñado para generar vapor a partir del calentamiento de agua mediante la combustión de un combustible. En la industria de extracción de aceite de palma, las calderas cumplen un papel fundamental en diversas etapas del proceso productivo. Debido a su importancia operativa, es esencial garantizar su funcionamiento de manera controlada, eficiente y segura.

Para comprender mejor su automatización, en esta guía la caldera se divide en los siguientes sistemas principales que se complementan mutuamente:

•Sistema de combustión y alimentación de biomasa

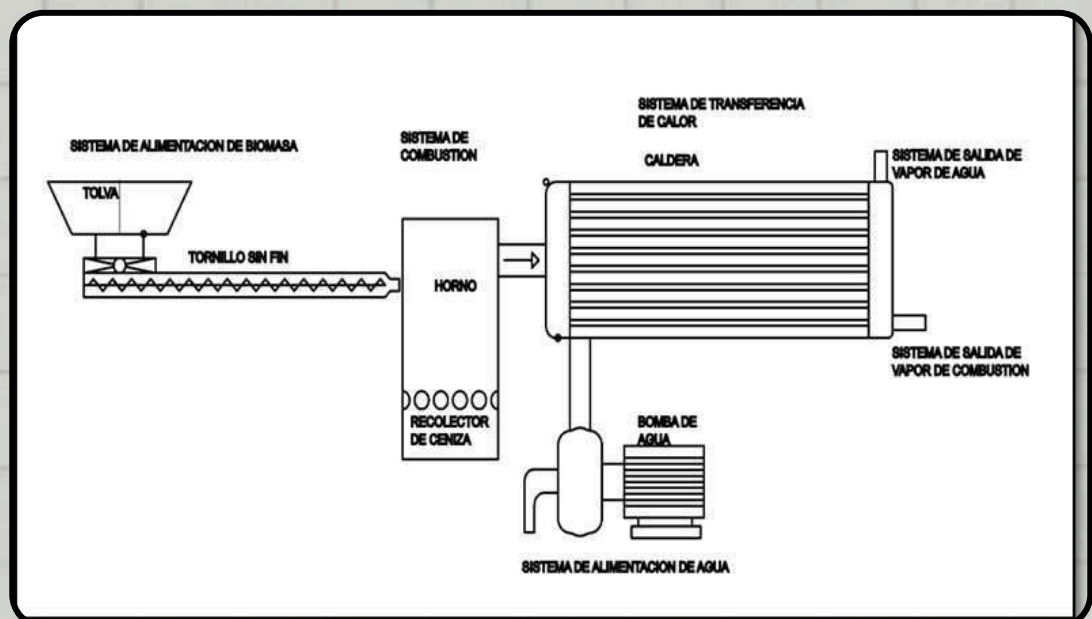
•Sistema de alimentación de agua

•Sistema de control de presión y salida de vapor

•Sistema de depresión (tiraje inducido)

•Sistema de evacuación de ceniza

•Sistema de control y supervisión





# Componentes clave en la automatización de la caldera

8

Además de los sistemas principales que componen la caldera, existen una serie de elementos físicos y funcionales que son cruciales para su operación térmica y que forman parte integral de su estructura y automatización.

Estos elementos serán analizados a lo largo del capítulo en el contexto de cada sistema funcional, pero se listan a continuación para tener en cuenta sus definiciones y funciones de forma general.

A continuación, se presentan los componentes principales que deben ser considerados en la automatización de una caldera híbrida:

**Ventiladores de alimentación de oxígeno:** Introducen aire controlado hacia la cámara de combustión. Su velocidad es regulada por el sistema de control para mantener la relación aire/combustible ideal, fundamental para una combustión completa y eficiente.

**Quemador:** Control de encendido y apagado, y ajuste automático de la mezcla de combustión.

**Cámara de combustión:** Medición de la temperatura interna para optimizar la eficiencia térmica.

**Ventiladores de recirculación de gases calientes:** Se utilizan para distribuir uniformemente el calor dentro de la cámara de combustión o para facilitar el intercambio térmico en zonas específicas. También pueden participar en la recirculación de gases hacia otras etapas del proceso (como el precalentamiento de biomasa).

**Tuberías de agua y vapor:** Control de nivel y presión para garantizar un flujo estable y seguro.

**Bomba de alimentación:** Automatización del suministro de agua según la demanda del sistema.

**Válvulas de seguridad y de control:** Activación automática ante condiciones de sobrepresión o sobrecalentamiento.

**Conductos de escape y economizador:** Monitoreo de gases de combustión para aumentar la eficiencia y reducir emisiones.

**Sensores de nivel:** Supervisión del nivel de agua en el tanque de alimentación y dentro de la caldera.

**Sensores de presión:** Detección continua de la presión interna en la cámara de transferencia de calor.

**Sensores de temperatura:** Medición de temperatura en la cámara de combustión y en las líneas de vapor.

**Caudalímetro de vapor:** Medición del flujo de vapor producido y entregado a los procesos industriales.

**Sensor de gases de escape:** Análisis de la composición de los gases para evaluar la eficiencia de la combustión.

**Válvulas motorizadas:** Control automático del flujo de agua y vapor, con regulación según la demanda.





# Sistema de Combustión y Alimentación de Biomasa

9

El sistema de combustión y alimentación de biomasa, tiene como función principal suministrar el combustible sólido (biomasa) a la cámara de combustión y generar el calor necesario para la producción de vapor. Su automatización permite ajustar de forma dinámica el flujo de biomasa y de aire en función de la demanda térmica, asegurando un proceso eficiente y seguro.

El rendimiento de este sistema depende directamente de dos factores críticos: el control preciso del caudal de biomasa y el aporte de aire (oxígeno) para mantener una combustión estable y continua. Estos parámetros influyen en la temperatura alcanzada en el horno y, por tanto, en la calidad del vapor generado.

- Temperatura en la cámara de combustión
- Velocidad de alimentación de biomasa
- Velocidad del ventilador primario (aire de combustión)
- Velocidad del ventilador secundario (recirculación térmica / extracción parcial)
- Presión de gases (coordinada con el sistema de depresión)

## Variables involucradas



- Sensor de temperatura en cámara de combustión
- Medidor de velocidad de alimentación de biomasa
- Variador de frecuencia (VFD) para ventilador primario
- Variador de frecuencia (VFD) para ventilador secundario
- Sensor de presión de gases
- Sensor de flujo de aire (opcional)
- Actuadores para válvulas o compuertas

## Instrumentos involucrados



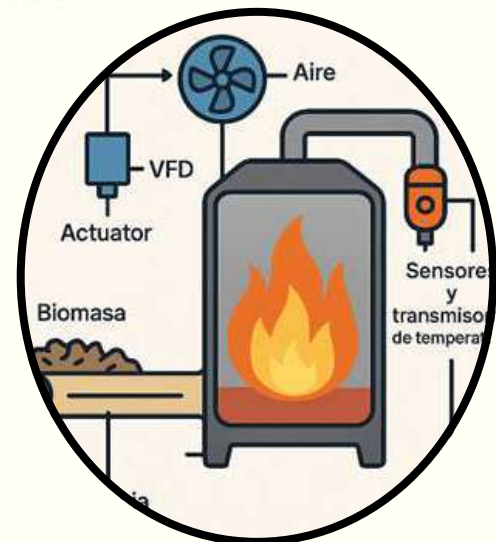
## Lógica de operación:

La biomasa es transportada hacia el horno mediante un sistema mecánico automatizado, como un tornillo sin fin, banda transportadora o inyección neumática.

Simultáneamente, un ventilador primario introduce aire controlado en la cámara de combustión para mantener la mezcla aire-combustible en condiciones óptimas.

Un ventilador secundario redirige los gases calientes hacia la cámara de transferencia de calor, favoreciendo el intercambio térmico.

La coordinación entre la alimentación de biomasa y el flujo de aire se ajusta en función de la temperatura de combustión medida en tiempo real, y la presión interna es monitoreada para sincronizar la operación con el sistema de depresión.





Este sistema puede emplear un esquema de control PID para regular la cantidad de biomasa alimentada y el caudal de aire, con base en la temperatura deseada en la cámara de combustión.

El ventilador secundario opera en coordinación con el sistema de depresión, ajustando su velocidad para mantener el equilibrio de presión entre la cámara de combustión y el sistema de transferencia de calor.

El sistema debe contar con un límite superior de temperatura en la cámara de combustión, definido según la capacidad térmica y diseño del equipo.

Si la temperatura excede el umbral establecido, se debe activar una alarma visual y sonora en la HMI, y reducir automáticamente la alimentación de biomasa mediante el cierre parcial del actuador o disminución de la frecuencia del motor.

## Condiciones de seguridad:

Se debe considerar la detección de obstrucciones en el tornillo sin fin o bloqueos mecánicos en la alimentación, activando un paro del sistema y la correspondiente alarma.

•El sistema debe coordinarse con el sistema de depresión para prevenir acumulación de gases en caso de pérdida de presión negativa en la cámara de combustión.

Deben integrarse protecciones ante fallos de sensores críticos (temperatura, presión, nivel), con lógica de parada segura o modo de operación degradada.

## Visualización en HMI:

En la interfaz de operador (HMI), se deben mostrar los siguientes parámetros en tiempo real:

- Temperatura de la cámara de combustión
- Frecuencia de alimentación de biomasa (velocidad del actuador)
- Velocidad de los ventiladores primario y secundario
- Alarmas activas o fallos detectados
- Estado de los elementos (encendido, apagado, error)



# Sistema de Alimentación de Agua 11

Este sistema se encarga de suministrar el agua necesaria para la generación continua de vapor. Para garantizar una producción estable y segura, el volumen de agua alimentado a la caldera debe mantenerse dentro de límites controlados, evitando variaciones abruptas de presión que podrían comprometer la integridad del equipo o la eficiencia del proceso.

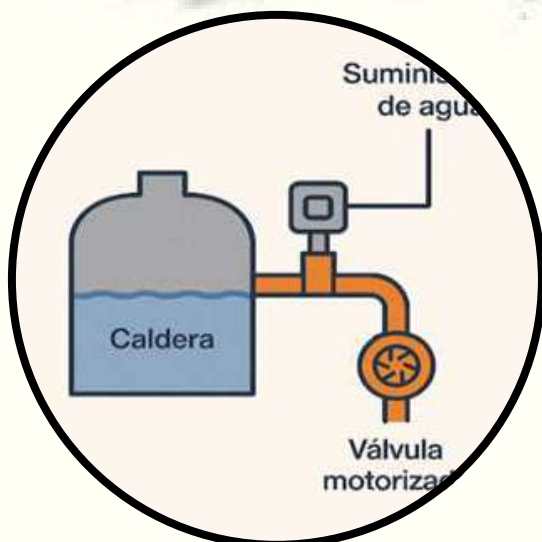
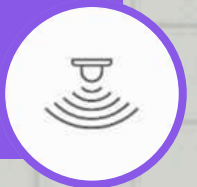
- Temperatura en el tanque de precalentamiento
- Nivel de agua en el tanque de reserva
- Nivel de agua en el tanque de transferencia de calor

## Variables involucradas



- Sensor de temperatura en el tanque de precalentamiento
- Sensor de nivel en el tanque de reserva
- Sensor de nivel en el tanque de transferencia de calor
- Bomba de alimentación motorizada
- Variador de frecuencia (VFD) para la bomba (opcional)
- Válvulas motorizadas

## Instrumentos involucrados



## Lógica de operación:

El sistema inicia con el agua almacenada en el tanque de reserva, el cual tiene un sistema de control que mantiene el líquido a una temperatura cercana al punto de ebullición (aproximadamente 90 °C al nivel del mar) para reducir el choque térmico y aumentar la eficiencia del proceso de vaporización.

Desde este tanque, el agua precalentada es impulsada mediante una bomba motorizada hacia el cuerpo principal de la caldera, donde se encuentra el tanque de transferencia de calor. La bomba opera según la demanda térmica y el nivel detectado en ambos tanques, asegurando un flujo estable y continuo.



Un sistema PID que mantenga los niveles deseados de agua en ambos tanques, realizando ajustes proporcionales según desviaciones.

Un esquema on-off escalonado por niveles, que reduce el número de arranques frecuentes de la bomba y extiende su vida útil, ideal en sistemas donde no se requiere un control proporcional fino.

Deben establecerse límites máximos y mínimos de nivel en ambos tanques.

En caso de que se detecte un nivel crítico bajo o alto, el sistema debe emitir alarmas visuales y sonoras.

Condiciones de seguridad:

Deben incorporarse lógicas de bloqueo ante fallos en sensores de nivel o temperatura.

•El encendido de la bomba debe estar protegido ante operación en seco o sobrecarga.

## Visualización en HMI:

En la interfaz HMI, el operador debe tener acceso a los siguientes parámetros en tiempo real:

- Temperatura del tanque de precalentamiento
- Estado de la motobomba (encendido/apagado)
- Niveles de agua en el tanque de reserva y en el tanque de transferencia de calor (preferiblemente representados mediante una escala tipo barra o medidores analógicos digitales)
- Alarmas activas por nivel o temperatura fuera de rango

# Sistema de Control de Presión y Salida de Vapor

13

En este bloque se gestiona la presión interna dentro del tanque de transferencia de calor, así como la regulación del vapor generado y su entrega hacia los equipos térmicos de proceso, principalmente los autoclaves, que se utilizan en la industria de extracción de aceite de palma para la esterilización y ablandamiento del fruto. Su objetivo es mantener la presión en condiciones seguras, asegurar un suministro constante de vapor y adaptar la salida a la configuración térmica de la caldera, ya sea acuatubular o pirotubular.

- Presión interna de la caldera
- Caudal de vapor generado
- Temperatura del vapor (si aplica)
- Señales de paro o alivio por sobrepresión

## Variables involucradas



- Sensor de presión interna de la caldera
- Caudalímetro de vapor
- Sensor de temperatura del vapor (si aplica)
- Válvula de seguridad
- Interruptor de presión
- Válvula de control de caudal de vapor
- Registrador de datos (opcional)

## Instrumentos involucrados



## Lógica de operación:

El agua precalentada ingresa al tanque de transferencia de calor desde el sistema de alimentación, generando vapor que debe ser conducido y regulado hacia el autoclave.

Dependiendo de la arquitectura de la caldera, el comportamiento térmico puede variar:

- **Calderas acuatubulares**, el agua se evapora rápidamente al circular por tubos sometidos a calor externo, permitiendo una generación ágil de vapor.
- **Calderas pirotubulares**, el vapor se produce más lentamente debido al intercambio térmico indirecto entre los gases calientes y el cuerpo de agua, pero puede alcanzar presiones mayores.

El sistema debe mantener un equilibrio entre la generación de vapor y su consumo por parte del autoclave, regulando el caudal y la presión de forma dinámica.





La presión interna de la caldera se regula mediante un control PID, que actúa sobre el sistema de combustión para reducir el aporte térmico si se detecta una presión superior al valor de consigna.

La salida de vapor se ajusta en función del requerimiento térmico del autoclave, abriendo o cerrando válvulas modulantes para permitir una entrega eficiente y continua.

Deben establecerse límites máximos de presión configurables.

Si se exceden estos valores, se debe activar una válvula de alivio automática y generar alarmas visibles en la HMI.

Condiciones de seguridad:

El sistema debe contar con sensores redundantes de presión y lógica de actuación en caso de falla de los dispositivos principales

En caso de falta de consumo por parte del autoclave, se debe bloquear temporalmente la salida y reducir la generación de vapor para evitar sobrepresión

## Visualización en HMI:

La HMI debe mostrar en tiempo real:

- Presión interna del tanque de transferencia
- Caudal de salida hacia el autoclave
- Estado de la válvula de alivio
- Alarma por sobrepresión activa
- Estado de apertura de las válvulas de entrega de vapor

# Sistema de Depresión (Tiraje Inducido)

15

Este sistema tiene como función principal garantizar la correcta evacuación de los gases de combustión, manteniendo una presión negativa controlada dentro de la cámara de combustión. Esto permite un flujo eficiente de vapor hacia los equipos térmicos del proceso, como los autoclaves, y evita acumulaciones de presión que puedan comprometer la estabilidad del sistema.

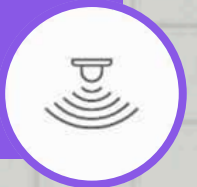
- Presión interna en la cámara de combustión
- Presión externa o presión en el ducto de extracción de gases.

## Variables involucradas



- Sensor de presión en la cámara de combustión
- Sensor de presión en el ducto de extracción de gases
- Transmisor diferencial de presión
- Controlador PID (opcional, para regulación precisa)
- Ventilador de extracción con variador de velocidad (VFD)

## Instrumentos involucrados



## Lógica de operación:

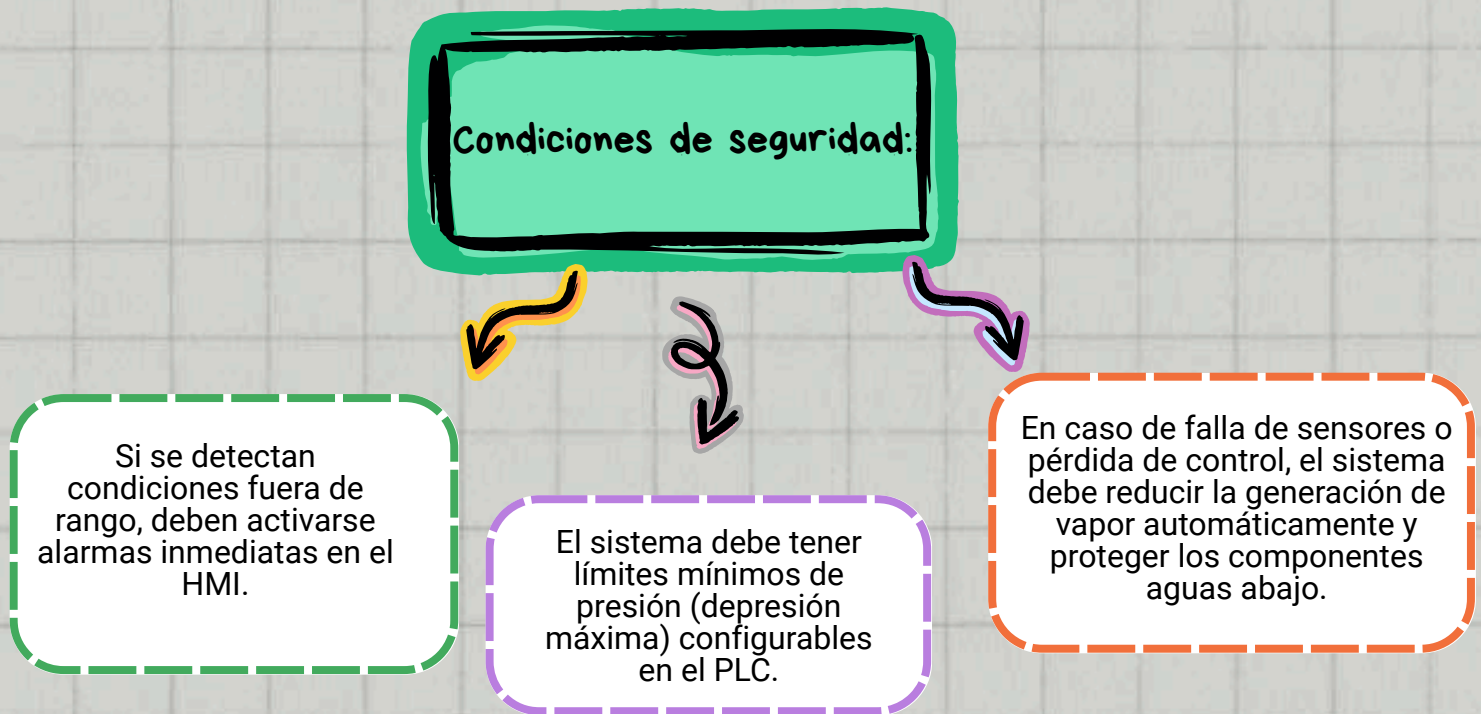
El sistema opera mediante la comparación entre la presión interna y la presión de salida, generando una señal de control proporcional a la diferencia detectada.

Este valor debe mantenerse dentro de un rango negativo constante, dado que un entorno ligeramente deprimido en la cámara de combustión favorece el flujo natural de los gases calientes hacia el sistema de transferencia de calor y, posteriormente, hacia el sistema de escape.





El sistema utiliza un control PID aplicado a un conjunto de electroválvulas modulantes o compuertas reguladoras. Estas actúan sobre el caudal de gases que salen por el ducto de extracción, modificando el tamaño de apertura o el paso de flujo. De esta manera, se ajusta de forma continua el valor de presión negativa hasta mantenerlo en el rango deseado.



## Visualización en HMI:

La HMI debe mostrar en tiempo real:

- Presión actual (diferencial) en la cámara de combustión
- Estado de la válvula o compuerta de escape (abierta/parcial/cerrada)
- Alarma por sobrepresión positiva o falta de depresión
- Estado del ventilador de extracción (si aplica)

# Sistema de Evacuación de Ceniza 17

Este sistema se encarga de la remoción automática de residuos sólidos generados durante la combustión, tales como ceniza gruesa, partículas no combustibles o escorias. Su operación garantiza que la cámara de combustión se mantenga limpia y libre de obstrucciones, permitiendo conservar la eficiencia térmica del proceso y evitar pérdidas de rendimiento.

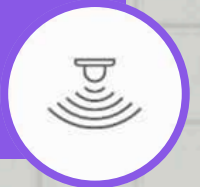
- Tiempo acumulado de operación del sistema de combustión
- Cantidad de biomasa consumida
- Estado del sistema de evacuación (activo/inactivo).

## Variables involucradas



- Temporizador programable
- Sensor de nivel de ceniza
- Actuador de compuerta/tornillo
- Sensor termico (opcional)
- Interruptores de seguridad
- Válvulas de control (si aplica)

## Instrumentos involucrados



## Lógica de operación:

La lógica de este bloque se basa en el seguimiento del tiempo de uso y del volumen estimado de biomasa consumida. Al alcanzar un umbral definido, se activa automáticamente el sistema de limpieza, que puede estar compuesto por transportadores mecánicos, tornillos sin fin, compuertas basculantes u otros mecanismos.

El sistema puede estar diseñado para operar de forma programada o condicional, activándose a intervalos regulares o cuando la acumulación estimada de residuos así lo indique.





Puede implementarse mediante una lógica on/off temporizada, donde la frecuencia de activación depende directamente de la carga térmica aplicada a la caldera (relacionada con la tasa de alimentación de biomasa). En sistemas más avanzados, puede añadirse retroalimentación con sensores de nivel de ceniza o presión diferencial en el hogar para mejorar la precisión del disparo.

El operador realiza inspecciones visuales, limpieza y ajustes directamente, siguiendo rutinas establecidas. Se activa o desactiva el equipo manualmente según la experiencia y condiciones observadas, siendo útil como respaldo o en ausencia de automatización.

## Condiciones de seguridad:

El sistema debe contar con mecanismos de detección de atascos en los conductos o en el tornillo sin fin.

Ante la detección de obstrucción, se debe activar una rutina de reversa o limpieza por contracorriente (si aplica), junto con una alarma visual y sonora en el HMI.

La operación del sistema de limpieza debe realizarse con las compuertas de aislamiento bien posicionadas, para evitar retorno de gases o riesgos mecánicos.

## Visualización en HMI:

La HMI debe mostrar en tiempo real:

- Estado del sistema de limpieza (activo, inactivo, alarma)
- Tiempo restante para la siguiente limpieza programada
- Contador de biomasa acumulada (opcional)
- Alarma por atasco o fallo mecánico

Este sistema cumple la función de integrar, coordinar y supervisar todos los sistemas de la caldera. Está conformado por el conjunto de dispositivos responsables de ejecutar la lógica de control, interactuar con el operador y asegurar la operación segura y eficiente del proceso.

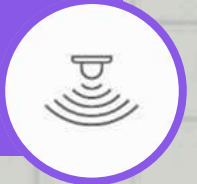
- PLC (Controlador Lógico Programable)
- HMI (Interfaz Hombre-Máquina)
- Variadores de frecuencia para motores, ventiladores y bombas
- Módulos de entradas/salidas (digitales y analógicas)
- Redes de comunicación industrial
- Sistemas de alimentación eléctrica, protección y respaldo (fuentes, UPS, relés, contactores, etc.)

## Variables involucradas



- Entradas y salidas digitales y analógicas del PLC
- Estados de alarmas generales y por sistema
- Estados de enclavamientos entre bloques
- Variables operativas visibles y ajustables desde la HMI

## Instrumentos involucrados



## Lógica de operación:

El PLC actúa como el núcleo del sistema de automatización. Recibe señales de sensores distribuidos en los diferentes bloques funcionales, evalúa sus condiciones, ejecuta la lógica de control programada (priorizando seguridad e integridad del equipo) y actúa sobre los actuadores.

La lógica de priorización está definida en el siguiente orden:

1. Seguridad operativa
2. Protección estructural de la caldera (temperatura/presión)
3. Entrega eficiente de vapor al autoclave





**CONTROL AUTOMÁTICO PID.**  
UTILIZADO EN SISTEMAS COMO:

ALIMENTACIÓN  
DE BIOMASA

REGULACIÓN DE  
PRESIÓN

CONTROL DE  
VENTILADORES

**CONTROL ON/OFF POR NIVELES  
O CONDICIONES.** PRESENTE EN:

ALIMENTACIÓN  
DE AGUA

EVACUACIÓN  
DE CENIZAS

ACTIVACIÓN DE  
LIMPIEZA O  
PURGA

**CONTROL ON/OFF POR  
NIVELES O CONDICIONES.**  
PRESENTE EN:

PERMITE AL OPERADOR  
ACTIVAR O DESACTIVAR  
COMPONENTES SEGUN SU  
NECESIDAD

**Gestión de alarmas  
centralizada:** detección,  
visualización y  
priorización de alarmas  
por severidad

**Enclavamientos generales  
entre sistemas,** que  
impiden el encendido de  
subsistemas si no se  
cumplen condiciones  
mínimas de operación  
segura (ej. no alimentar  
agua si no hay combustión  
activa).

**Condiciones de seguridad:**

Paros de emergencia  
configurables, con  
botones físicos o  
digitales que  
desactiven todos los  
actuadores críticos.

Gestión de alarmas  
centralizada: detección,  
visualización y priorización de  
alarmas por severidad

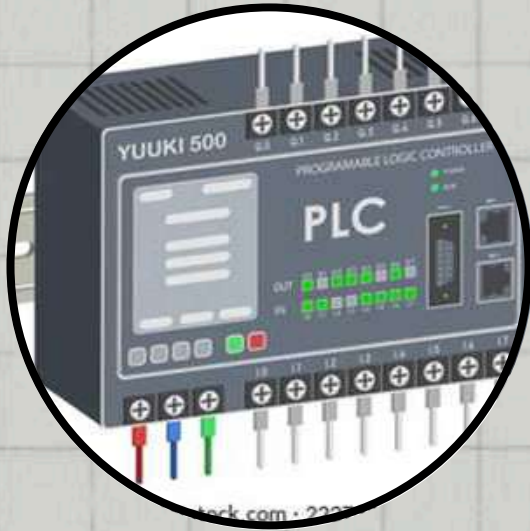
Sistema de acceso por  
usuarios, con perfiles  
diferenciados (operador,  
supervisor, mantenimiento)  
para evitar cambios no  
autorizados.

## Visualización en HMI:

La interfaz HMI debe permitir:

- Acceso a pantallas organizadas por sistema funcional
- Panel de inicio con resumen de variables críticas (dashboard)
- Registro de alarmas con fecha y hora para diagnóstico
- Visualización de gráficos de tendencia por presión, temperatura, nivel, etc.
- Acceso seguro por usuario con contraseña
- Posibilidad de activar/desactivar equipos manualmente (si está permitido).

# Selección de PLC y protocolos de comunicación 21



El PLC es el cerebro del sistema de automatización, por lo que su selección es una de las decisiones más importantes a considerar. Existen diversos factores clave en esta elección, como la compatibilidad con los equipos ya instalados, la capacidad de integración con otros sistemas, el procesamiento eficiente de órdenes complejas, el modularidad y la facilidad de expansión.

A continuación, se presentan algunas marcas de PLC recomendadas destacando sus principales ventajas y características.

Marca	Modelo	Ventajas	Protocolos de Comunicación
Siemens	S7-1200 / S7-1500	Alta compatibilidad, integración con TIA Portal, modularidad	PROFINET, PROFIBUS, Modbus TCP/IP
Allen-Bradley	CompactLogix / ControlLogix	Integración con SCADA, soporte para control avanzado	EtherNet/IP, DeviceNet, ControlNet
Schneider	Modicon M241 / M251 / M340	Flexibilidad, ideal para control distribuido	Modbus RTU, Modbus TCP/IP, CANopen
Omron	NX / NJ / CP	Alta velocidad de procesamiento, integración con sensores	EtherCAT, PROFINET, Modbus TCP
Delta	DVP / AS	Solución económica, eficiente para sistemas medianos	Modbus RTU, CANopen, EtherNet/IP



# Selección de PLC y protocolos de comunicación

22

Asimismo, es crucial evaluar la red de comunicación que interconecta los sistemas con el PLC, así como la capacidad de expansión de sus funciones según los requerimientos del proceso.

Por ello, a continuación se describen los principales protocolos de comunicación industrial empleados en la integración con PLCs, los cuales han mostrado un desempeño eficiente y confiable en entornos de automatización, facilitando así la elección del protocolo más adecuado según las necesidades particulares del sistema.

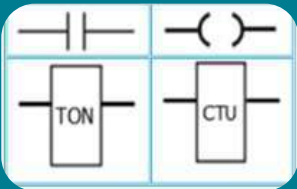


Protocolo	Fabricantes que lo usan	Ventajas	Aplicaciones
<b>PROFINET</b>	S7-1200 / S7-1500	Alta velocidad, integración con SCADA y HMI, control en tiempo real	Control de procesos avanzados, automatización compleja
<b>EtherNet/IP</b>	CompactLogix / ControlLogix	Comunicación en redes Ethernet estándar, fácil integración	Control distribuido, interconexión de PLCs
<b>Modbus RTU / TCP</b>	Modicon M241 / M251 / M340	Protocolo ampliamente usado, bajo costo, flexible	Comunicación con sensores y actuadores industriales
<b>CANopen</b>	NX / NJ / CP	Bajo consumo de ancho de banda, alta resistencia a interferencias	Control distribuido, automatización de maquinaria
<b>DeviceNet / ControlNet</b>	DVP / AS	Solución económica, eficiente para sistemas medianos	Sistemas críticos de automatización

# Lenguajes de programación de PLC

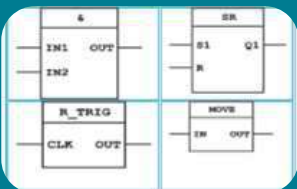
23

La norma IEC 61131-3 establece los lenguajes de programación estandarizados para los controladores lógicos programables (PLC), adaptándose a distintos niveles de complejidad, perfiles de usuario y requerimientos de los procesos industriales.



## LADDER DIAGRAM (LD)

- Lenguaje gráfico intuitivo, similar a esquemas eléctricos.
- Ideal para personal técnico por su fácil lectura.
- Nivel: Baja complejidad
- Elementos: Contactos, bobinas, temporizadores, contadores
- Uso: Lógica discreta, control de motores, luces, ON/OFF



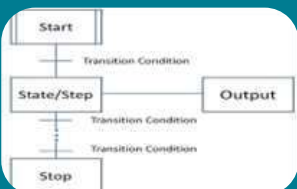
## Function Block Diagram (FBD)

- Programación gráfica mediante bloques funcionales conectados.
- Cada bloque realiza una función específica (lógica, PID, etc.).
- Nivel: Complejidad media
- Elementos: Bloques, entradas/salidas de datos
- Uso: Control continuo, procesos encadenados



## Structured Text (ST)

- Lenguaje textual estructurado similar a Pascal o C.
- Ideal para programadores con experiencia en lenguajes tradicionales.
- Nivel: Alta complejidad
- Elementos: IF, CASE, FOR, WHILE, operadores, estructuras
- Uso: Algoritmos, arrays, cálculos avanzados



## Sequential Function Chart (SFC)

- Lenguaje gráfico para procesos secuenciales.
- Organiza el flujo en pasos, transiciones y acciones.
- Nivel: Media-alta complejidad
- Elementos: Pasos, transiciones, enlaces lógicos
- Uso: Ciclos de máquina, procesos por lotes, automatismos paso a paso

NOTA: Aunque el lenguaje Instruction List (IL) fue uno de los primeros estándares definidos según la norma IEC 61131-3, actualmente está obsoleto. Se trata de un lenguaje textual de bajo nivel, similar al ensamblador. Su uso está limitado a sistemas antiguos y no se recomienda en nuevos desarrollos.



## EJEMPLO TIA PORTAL

Además del lenguaje elegido, en este proyecto se emplea específicamente Ladder Diagram (LD) junto con bloques de función (FB/FC), debido a su facilidad de interpretación y amplia adopción en entornos industriales. La programación en PLC se estructura de forma modular, utilizando bloques de código que permiten organizar la lógica de manera clara, ordenada y reutilizable, lo que facilita el mantenimiento, la comprensión y la escalabilidad del sistema.



**Bloques de Organización (OB):** Administran el flujo general del programa. El OB1 es el bloque principal que se ejecuta cíclicamente, mientras otros OB pueden responder a eventos o errores específicos.

**Bloques de Función (FB):** Contienen lógica reutilizable con capacidad de guardar información interna a través de bloques de datos asociados (DB). Son ideales para controlar dispositivos o rutinas que requieren memoria.

**Bloques de Función (FC):** Ejecutan tareas específicas sin conservar datos entre ciclos. Se usan cuando no es necesario almacenar estados internos.

**Bloques de Datos (DB):** Se utilizan para almacenar variables, parámetros de configuración o resultados de ejecución. Pueden ser:

- Globales, accesibles desde cualquier parte del programa.
- De instancia, asociados a un FB específico.

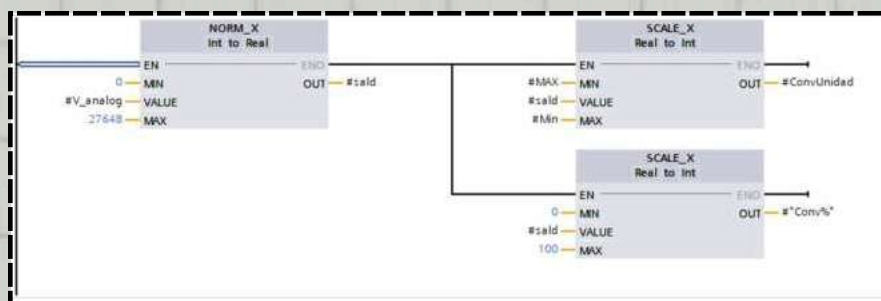
Esta estructura modular no depende del lenguaje usado (LD, FBD, ST, etc.), pero sí es fundamental para la organización y mantenimiento del software en proyectos de automatización industrial.

## LECTURA DE SEÑALES Y CONVERSIÓN DE UNIDADES.

El PLC interpreta señales analógicas provenientes de sensores industriales que miden variables como temperatura, presión o nivel. Estas señales, comúnmente en rangos de 0–10 V o 4–20 mA, ingresan al sistema a través de las entradas analógicas y se convierten internamente en valores digitales (por ejemplo, de 0 a 27648), según la resolución del conversor A/D del equipo.

Para trabajar con datos útiles, es necesario convertir estos valores digitales en unidades físicas reales. Esto se logra mediante fórmulas de escalado o funciones específicas como NORM, que permite normalizar la señal, y SCALE, que transforma ese valor a una unidad de ingeniería.

Una práctica recomendada es encapsular este proceso dentro de un bloque de función (FB) dedicado, el cual permite optimizar y reutilizar la lógica de conversión para múltiples sensores. Este FB puede incluir validaciones, escalado configurable y salidas estructuradas, facilitando así el mantenimiento del programa y asegurando una lectura uniforme de las variables del proceso.



Por ejemplo, un valor digital de 13 824 (#V\_analog) puede representar 50 °C (#ConvUnidad).

Esta conversión asegura que el sistema y el operador interpreten la magnitud medida de forma precisa para un control confiable del proceso.



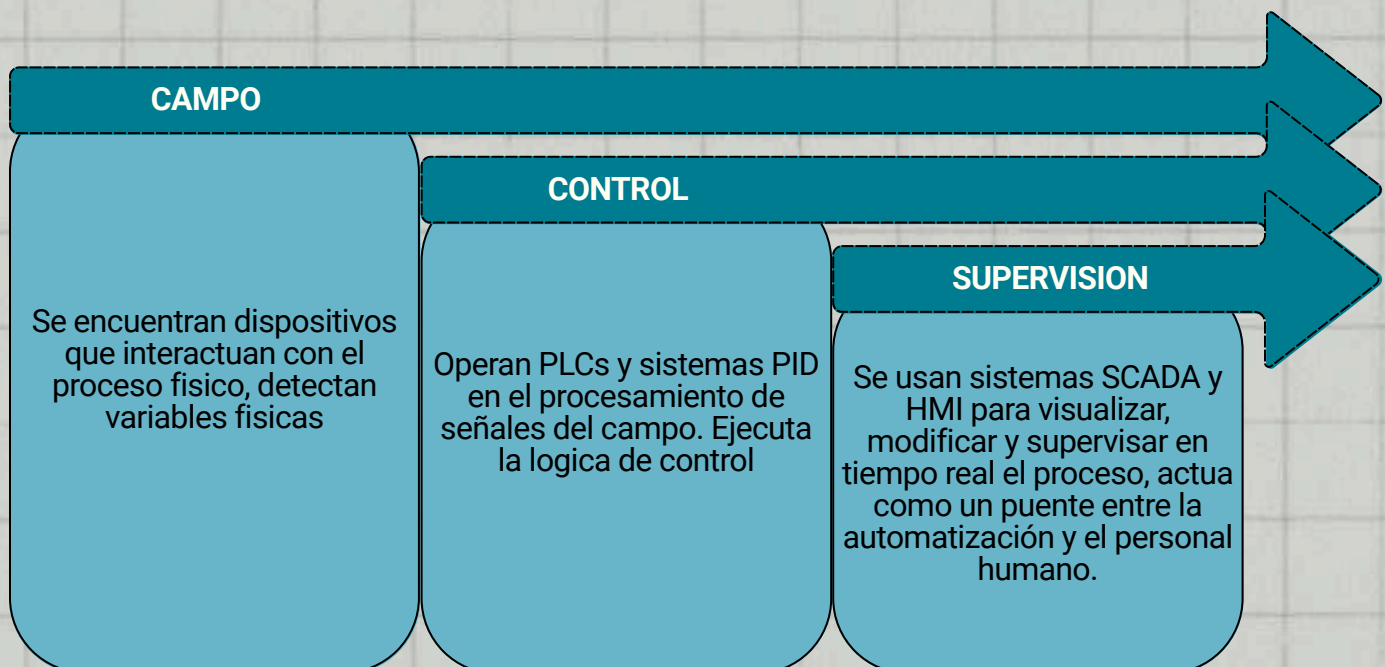
# Ejemplo de automatización de la caldera

26

A continuación se presenta el ejemplo a desarrollar durante todo el proceso de la guía. En una plantación de aceite de palma se requiere la automatización de una caldera la cual es necesaria para la generación de energía y llevar a cabo diversos procesos de la extracción del fruto de palma para la generación del aceite de palma. La caldera tiene las siguientes características

Modelo	Fluido	Presion	Temperatura Max.	Combustible
Caldera de Vapor	Vapor Saturado	Hasta 10 Bar	200 *C	Biomasa

Dado que el funcionamiento de una caldera industrial involucra múltiples procesos interrelacionados , se plantea una estrategia de automatización estructurada por niveles. La automatización se enfocará específicamente en los siguientes niveles funcionales



# Sistema de Alimentación de Agua 27

## CAMPO

Para automatizar el suministro de agua en la caldera, es fundamental supervisar variables clave como el nivel de agua en el tanque y en la caldera, la temperatura del fluido y el estado de los canales de suministro. Estas variables permiten mantener condiciones seguras de operación, prevenir fallas por sobrellenado o vaciado, y asegurar el funcionamiento continuo del sistema.

Con este propósito, se requiere un conjunto mínimo de instrumentos de medición y control, los cuales permiten monitorear en tiempo real el comportamiento del sistema y ejecutar acciones automáticas sobre bombas, válvulas u otros actuadores.

A continuación, se presentan los instrumentos esenciales para llevar a cabo esta automatización:

INSTRUMENTOS DE MONITOREO		ACTUADORES	
TERMOMETRO BIMETALICO	Monitorear la temperatura del tanque	CONTENEDOR DE SALDO	Regula el nivel de agua de la caldera
TERMOCUPLA	Monitorear la temperatura del tanque	PLACAS DE POROS	Medir el caudal de flujo en tuberías
CONTROL VISUAL DE NIVEL	Monitorear el nivel de agua	BOMBA	Extrae el agua del tanque para mandarlo a la caldera
TRANSMISOR DE NIVEL INTELIGENTE	Monitorear el nivel de agua del tanque	VALVULA REGULADORAS ELECTRICAS	Regula el paso de agua en la tubería de suministro de alimentación de agua de la caldera
MANOMETRO DE MUELLE DE BOURDON	Monitorear presión del tanque y en las tuberías de suministro		
TRANSMISOR DE PRESION INTELIGENTE	Monitorear presión del tanque y en las tuberías de suministro		

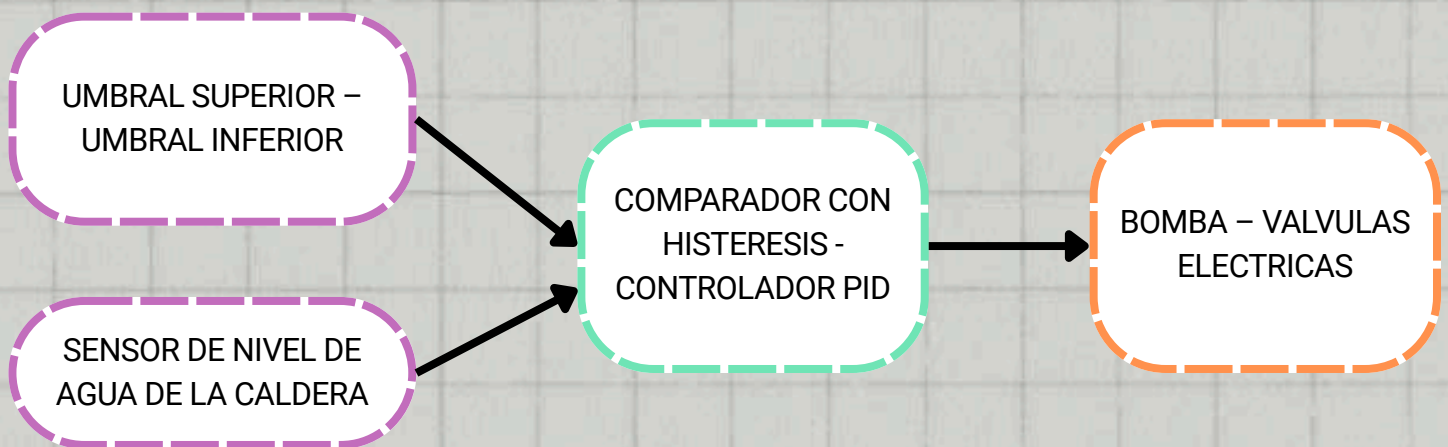




# Sistema de Alimentación de Agua 28

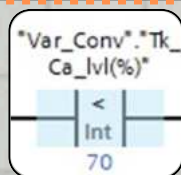
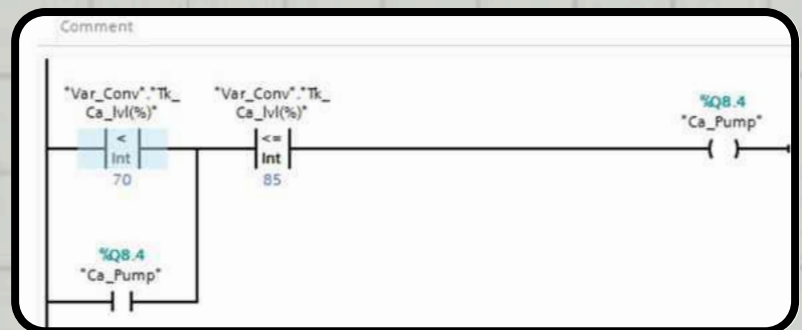
## CONTROL

El control del suministro de agua en la caldera se puede implementar mediante un sistema básico tipo ON-OFF, donde un sensor monitorea el nivel de agua. Si el nivel supera o cae por fuera de los límites definidos, se genera una señal para activar o desactivar la bomba. Para evitar ciclos de conmutación frecuentes que reduzcan la vida útil de los equipos, se recomienda trabajar con márgenes de control bien definidos.

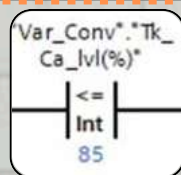


En este caso, se plantea inicialmente el uso de dos alternativas: un comparador con histéresis o un controlador PID. Con el comparador, se definen límites de activación y desactivación (por ejemplo, 70% y 80%) que permiten accionar la bomba, válvulas o un variador de velocidad, asegurando un suministro eficiente de agua a la caldera.

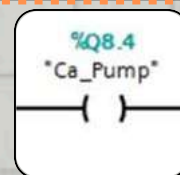
A partir de esta lógica, se desarrolla una programación sencilla pero efectiva utilizando bloques que permiten comparar los umbrales y controlar el estado de la bomba.



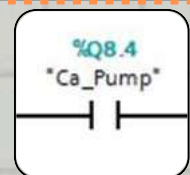
Comparacion de umbral de activacion



Comparacion de umbral de desactivacion



Activacion de la bomba

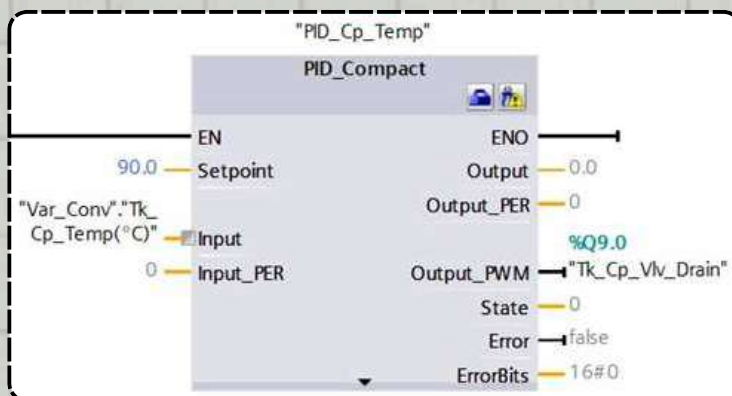


Señal de estado de la bomba

## CONTROL

Otra alternativa de control es el uso de un controlador PID con función de autotune, que ajusta automáticamente las ganancias proporcional ( $K_p$ ), integral ( $T_i$ ) y derivativa ( $T_d$ ) para optimizar la respuesta del sistema sin intervención manual. El controlador analiza pequeñas variaciones en la señal de salida para identificar el comportamiento del proceso y ajustar los parámetros PID en función del tiempo de respuesta y nivel de oscilación.

Parametros de importancia	Controlador PID
Input	Entrada señal del sensor
Setpoint	
Output_PWM	Salida del controlador en PWM
Mode	"nombre bloque (PID_Cp_Temp)".Mode: selecciona el modo del bloque, es decir, genera el cambio entre autotune o manual
State	"nombre (PID_Cp_Temp)".PIDSelfTune.State: Indica el estado del autotune (iniciando, optimizado, error, etc.)



Aunque este método mejora la precisión del control, no siempre es ideal para este tipo de sistemas, ya que puede implicar mantener la bomba activa durante periodos prolongados o provocar conmutaciones frecuentes, lo que acelera el desgaste del equipo.

En este caso, se utilizó una salida PWM para controlar actuadores digitales (0/1), y, si se tratara de actuadores analógicos, se usaría una salida proporcional directa.

Por otro lado, estos métodos de control también pueden aplicarse al sistema de precalentamiento del agua, considerando que el agua debe alcanzar una temperatura aproximada de 90°C antes de ingresar a la caldera. Para ello, se puede implementar un esquema de automatización que supervise de forma continua la temperatura y accione un conjunto de válvulas encargadas de regular el flujo térmico dentro de los tanques.



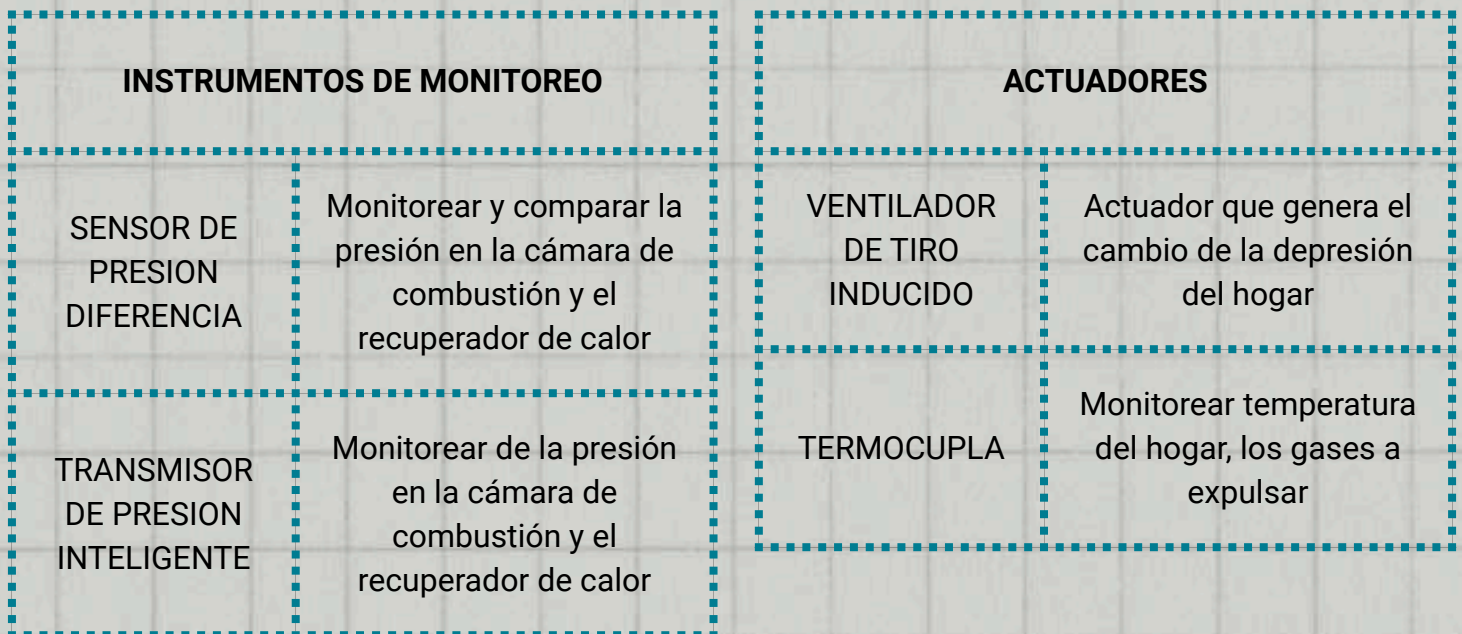
# Sistema de Depresión (Tiraje Inducido)

30

## CAMPO

Con el objetivo de mantener de forma autónoma una presión negativa adecuada en el hogar de la caldera, es fundamental monitorear dos zonas críticas del sistema: la presión en la cámara de combustión y la presión a la salida de gases en el recuperador de calor. Estos parámetros permiten garantizar una combustión eficiente, evitar fugas de gases al ambiente y proteger la integridad del sistema.

A continuación, se presenta el conjunto mínimo de instrumentos necesarios para la automatización de este control:



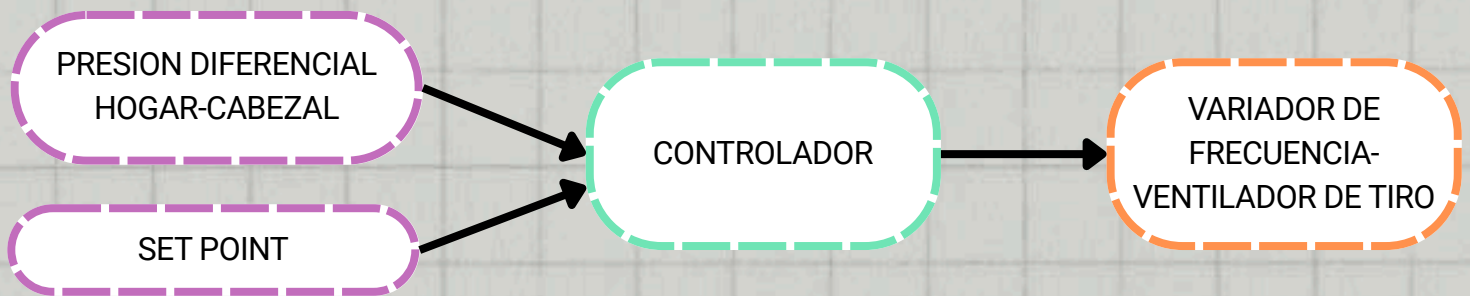
# Sistema de Depresión (Tiraje Inducido)

31

## CONTROL

La depresión en el hogar de la caldera puede modelarse como un sistema de segundo orden, ya que está directamente relacionada con la velocidad del ventilador de tiro inducido. Este ventilador se controla mediante un variador de velocidad, que ajusta su operación en función de la diferencia de presión entre el hogar y el recuperador de calor.

Este tipo de control permite mantener condiciones estables en la cámara de combustión, garantizando una evacuación adecuada de los gases sin comprometer la seguridad del proceso.



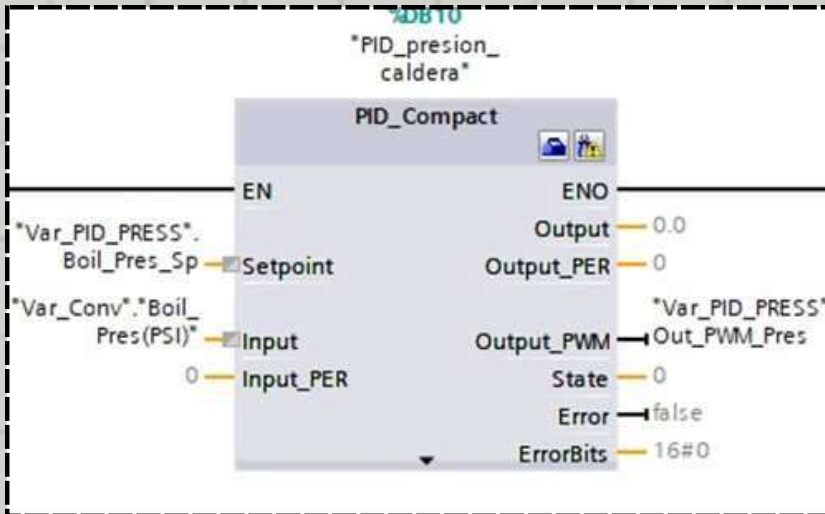
Parametros de importancia	Controlador PID
Gain	"nombre bloque (PID_presion_caldera)".Retain.CtrlParams.Gain
Ti	"nombre bloque (PID_presion_caldera)".Retain.CtrlParams.Ti
Td	"nombre bloque (PID_presion_caldera)".Retain.CtrlParams.Td
Setpoint	
Output_PWM	Salida del controlador en PWM
Mode	"nombre bloque (PID_presion_caldera)".Mode: selecciona el modo del bloque, es decir, genera el cambio entre autotune o manual
State	"nombre bloque (PID_presion_caldera)".PIDSelfTune.State: Indica el estado del autotune (iniciando, optimizado, error, etc.)



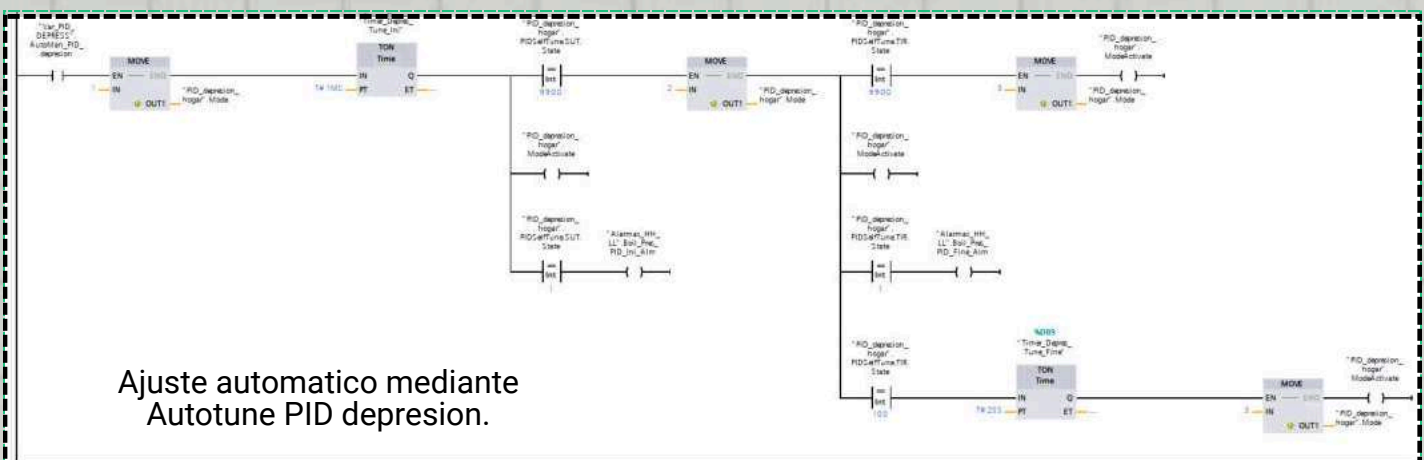
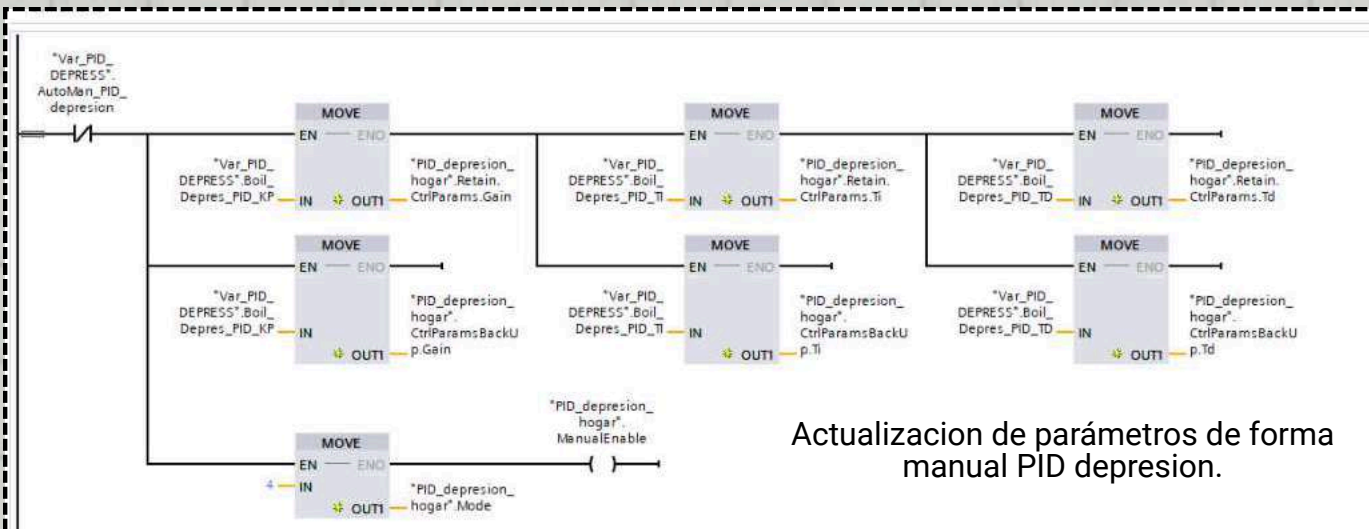
# Sistema de Depresión (Tiraje Inducido)

32

## CONTROL



También es posible configurar manualmente los parámetros del controlador PID, especialmente en casos donde el proceso, la instalación o el personal técnico (como ingenieros u operarios de mantenimiento) ya cuenten con valores previamente definidos. A continuación, se presenta una alternativa de programación que permite habilitar tanto la configuración manual de los parámetros PID como la activación del autotune para su ajuste automático.



# Sistema de Control de Presión, combustión y alimentación de biomasa

33

## CAMPO

La generación y distribución de vapor es un proceso complejo que puede dividirse en dos subsistemas interrelacionados: el suministro de vapor y la generación de vapor. Esta separación permite una mejor comprensión y control del sistema.

## Sistema de control de presión

Dado que el vapor es el producto principal de la caldera, su regulación debe realizarse con precisión. Para ello, es necesario supervisar variables como la presión en el domo de la caldera, la temperatura del vapor y el estado de los canales de salida de vapor. A continuación, se presenta el conjunto mínimo de instrumentos requeridos para automatizar esta sección:

INSTRUMENTOS DE MONITOREO		ACTUADORES	
MANOMETRO DE MUELLE BOURDON	Monitorear la presión de vapor en el cabezal	TERMOMETRO BIMETALICO	Monitorear la temperatura en el cabezal de vapor
TRANSMISOR DE PRESION INTELIGENTE	Monitorear la presión de vapor en el cabezal	VALVULAS DE COMPUERTA ELECTRICA	Control de vapor de la tubería principal
TERMOCUPLA	Monitorear la temperatura en el cabezal de vapor		





# Sistema de Control de Presión, combustión y alimentación de biomasa

34

## Sistema de combustión y Alimentación de Biomasa

La producción de vapor depende del control del suministro de combustible (biomasa) y del proceso de combustión. Este control se basa en variables como:

- La frecuencia del actuador encargado de suministrar la biomasa o el caudal de alimentación.
- La temperatura en la cámara de combustión.
- La cantidad de aire suministrado al proceso.

A continuación, se presentan los instrumentos mínimos necesarios para automatizar esta etapa:

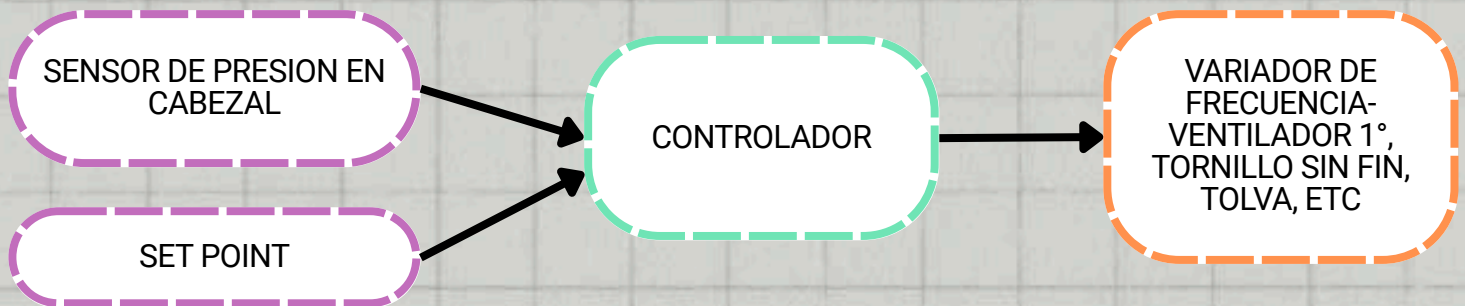
INSTRUMENTOS DE MONITOREO		ACTUADORES	
TERMOCUPLA	Monitoreo de temperatura en la cámara de combustión, salida de los humos de combustión, temperatura del aire caliente de combustión, temperatura del aire de salida del ventilador	TORNILLO SIN FIN – TOLVAS – BANDAS TRANSPORTADORAS	Monitorear la temperatura en el cabezal de vapor
TRANSMISOR DE PRESION INTELIGENTE	Monitorear la presión de vapor en el cabezal	VARIADOR DE FRECUENCIA DEL ACTUADOR	Actuador maneja el suministro de combustible biomasa
ANALIZADOR DE OXIGENO DE CIRCONIO	Monitorear la presión de vapor en el cabezal	VENTILADOR PRIMARIO	Controlan y regulan frecuencia del actuador
		VENTILADOR SECUNDARIO	Suministra el aire para la combustión
		VARIADOR DE FRECUENCIAS DEL VENTILADOR	Controlan y regulan frecuencia del ventilador para el suministro de aire

# Sistema de Control de Presión, combustión y alimentación de biomasa

35

## CONTROL

La presión en la caldera es una variable que depende de múltiples factores, entre ellos la presión del vapor, el comportamiento de la combustión y el suministro de biomasa. El control se realiza mediante la regulación de los ventiladores primario y secundario, así como del actuador que controla la alimentación de combustible.



Este sistema implementa un controlador PID con función de autotune, que ajusta automáticamente los parámetros  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$ . A través de pequeñas perturbaciones en la salida, el controlador analiza la dinámica del proceso y calcula los parámetros adecuados para mantener la presión dentro del rango deseado, sin necesidad de intervención manual.

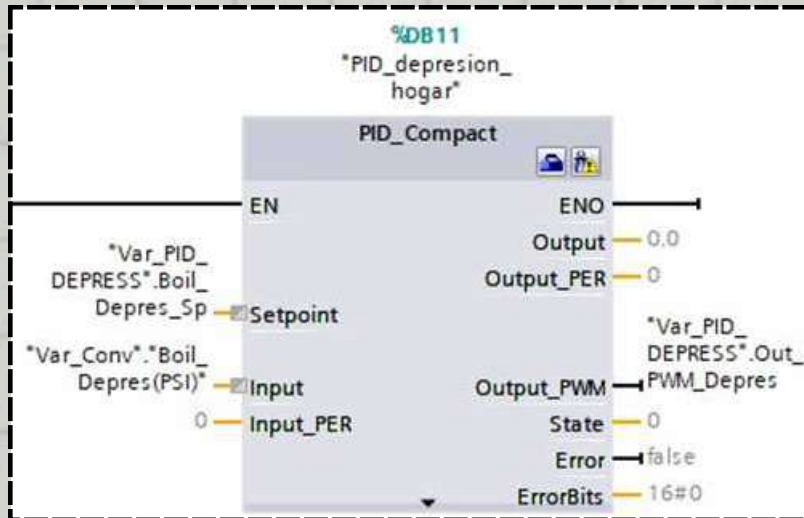
Parametros de importancia	Controlador PID
Gain	"nombre bloque (PID_presion_caldera)".Retain.CtrlParams.Gain
Ti	"nombre bloque (PID_presion_caldera)".Retain.CtrlParams.Ti
Td	"nombre bloque (PID_presion_caldera)".Retain.CtrlParams.Td
Setpoint	
Output_PWM	Salida del controlador en PWM
Mode	"nombre bloque (PID_presion_caldera)".Mode: selecciona el modo del bloque, es decir, genera el cambio entre autotune o manual
State	"nombre bloque (PID_presion_caldera)".PIDSelfTune.State: Indica el estado del autotune (iniciando, optimizado, error, etc.)



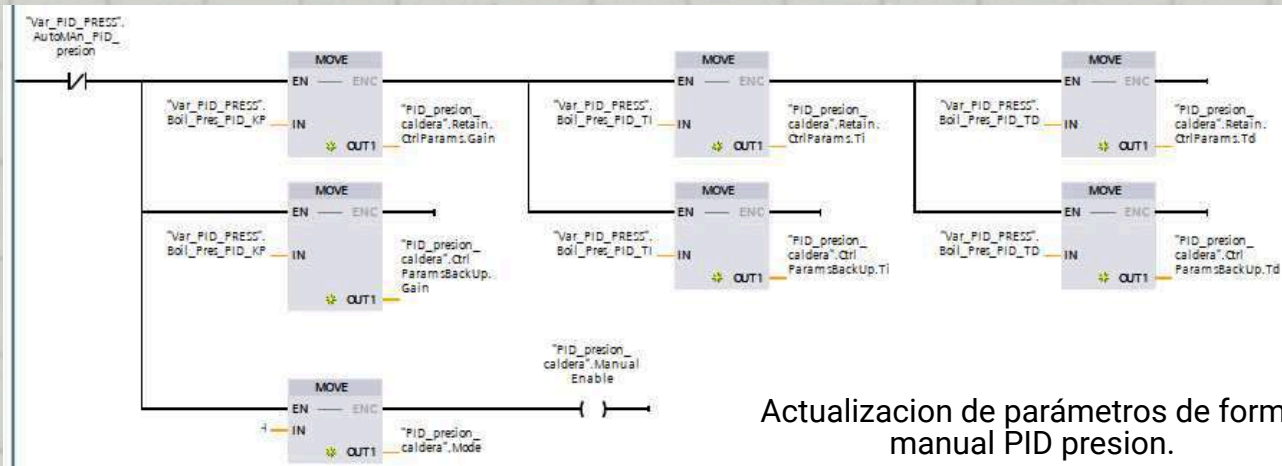
# Sistema de Control de Presión, combustión y alimentación de biomasa

36

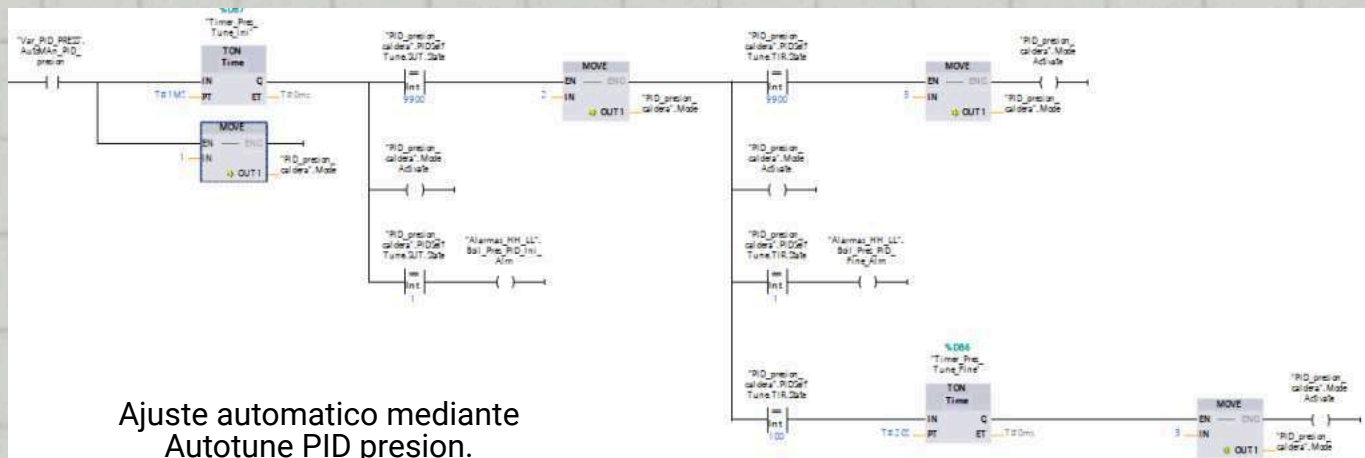
## CONTROL



También se contempla la posibilidad de ajustar manualmente los parámetros del controlador PID, en casos donde el proceso, la instalación o el personal técnico (como ingenieros u operarios de mantenimiento) ya dispongan de valores previamente definidos. A continuación, se presenta una alternativa de programación que permite habilitar tanto la configuración manual de los parámetros PID como la ejecución del proceso de autotune para su ajuste automático.



Actualizacion de parámetros de forma manual PID presion.



Ajuste automatico mediante Autotune PID presion.

# Controladores y dispositivos complementarios

37

Para la implementación del sistema de control, se selecciona el PLC SIMATIC S7-1500, reconocido por su arquitectura modular, compacta y escalable. Este equipo ofrece una solución flexible y potente para aplicaciones de automatización industrial. A continuación, se presenta su ficha técnica.

Categoría	Subcategoría	Datos
Información general	Producto	SIMATIC S7-1500, CPU 1511-1 PN
	Referencia	6ES7511-1AK02-0AB0
	Fabricante	Siemens – SIMATIC
	Versión del HW	FS03
	Versión del Firmware	V2
	Display	Diagonal de 3,45 cm
Alimentación	Tensión nominal	24 V DC
	Rango admisible	19,2 V a 28,8 V DC
	Consumo de intensidad	Nominal: 0,7 A / Máximo: 0,95 A
	Potencia del bus	Alimentación: 10 W / Absorbida: 5,5 W
Características físicas	Dimensiones	Ancho: 35 mm / Altura: 147 mm / Profundidad: 129 mm
	Peso aprox.	405 g
	Temperatura de operación	-25°C a 60°C
Memoria	Para programa	150 KB (integrada)
	Para datos	1 MB (integrada)
	Tarjeta de memoria	SIMATIC Memory Card (máx. 32 GByte)
Tiempos de ejecución	Operaciones de bits	60 ns
	Operaciones a palabras	72 ns
	Aritmética de coma fija	96 ns
	Aritmética de coma flotante	384 ns
	Interfaz principal	PROFINET IRT
Conectividad	Número de puertos	2 (Switch integrado)
	Protocolos soportados	PROFINET IO-Controller, IO-Device, PG/OP, Comunicación SIMATIC, IE abierta, Servidor web, Redundancia del medio
	Conexiones máximas	Total: 96 (ES/HMI/Web: 10 / S7 Routing: 16)



# Controladores y dispositivos complementarios

38

Esta ficha técnica es un recurso indispensable en la realización de este tipo de proyectos, ya que permite documentar de manera detallada las características de los equipos utilizados. Elaborar fichas técnicas para todos los elementos empleados facilita a los operarios y a la empresa conocer qué tipo de dispositivos forman parte del sistema, lo cual es clave en casos de sustitución, mantenimiento o mejoras futuras. En los anexos adicionales de esta guía se incluyen plantillas modelo que ilustran cómo deben estructurarse estas fichas, y aquí se presentan ejemplos aplicados a algunos de los componentes principales.

El sistema se complementa con un SCALANCE XB005, un switch Ethernet industrial no gestionable fabricado por Siemens. Este dispositivo está diseñado para entornos donde se requiere una red sencilla, robusta y confiable. A continuación, se presenta su ficha técnica.

Categoría	Subcategoría	Datos
Información general	Producto	SCALANCE XB005 (Switch Ethernet Industrial)
	Referencia	6GK5005-0BA00-1AB2
	Fabricante	Siemens – SIMATIC
	Tasa de transferencia	FS03
	Tipo de comunicación	V2
Alimentación	Tensión nominal	24 V DC
	Rango admisible	19,2 V a 28,8 V DC
	Consumo de intensidad	Máx. 0,07 A
	Pérdida de potencia	1,68 W
Características físicas	Dimensiones	Ancho: 45 mm / Altura: 100 mm / Profundidad: 87 mm
	Peso aprox.	165 g
	Temperatura de operación	Box
Condiciones ambientales	Temperatura de operación	-10 °C a +60 °C
	Temperatura de almacenamiento/transporte	-40 °C a +80 °C
	Humedad relativa máxima	95%



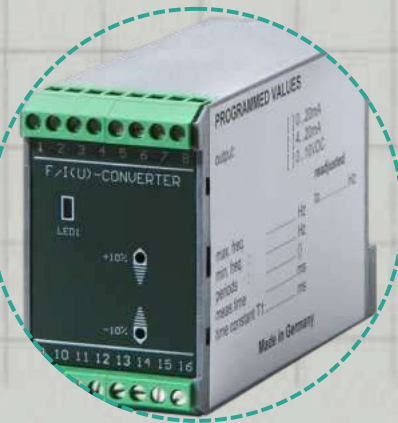
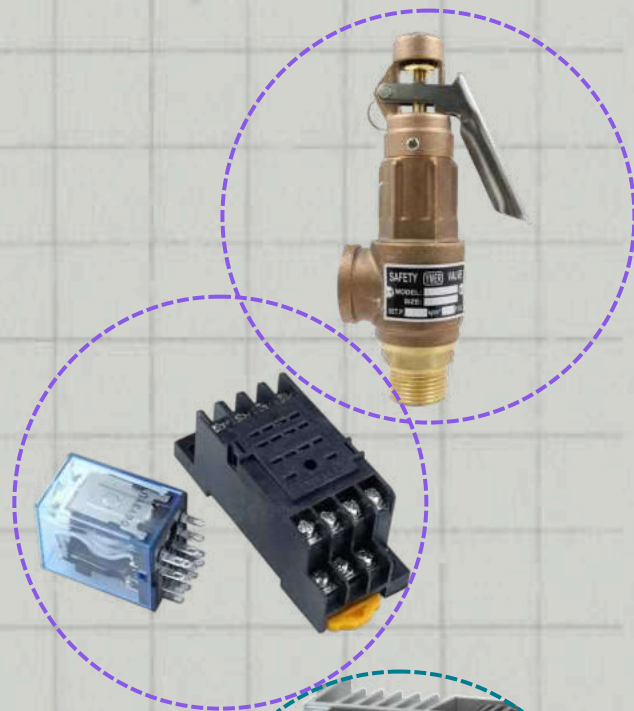
# Controladores y dispositivos complementarios

39

Por la parte de programación es una buena practica

Además se tiene en cuenta los siguientes dispositivos para agregarle robustez y seguridad al sistema. Además, se integran dispositivos adicionales que proporcionan mayor robustez y seguridad operacional, permitiendo una supervisión más completa y una respuesta adecuada ante condiciones de falla o mantenimiento.

INSTRUMENTO	FUNCION
RELES	Permiten el encendido o apagado seguro de equipos como bombas o ventiladores bajo condiciones controladas.
FUENTES DE ALIMENTACION	Suministran la energía necesaria a los distintos dispositivos, adaptándose a diferentes requerimientos de voltaje.
CONTACTORES	Manejan la conexión eléctrica de motores y equipos de alto consumo.
CONVERTIDORES DE SEÑAL	Adaptan señales entre formato analógico y digital para asegurar la comunicación entre sensores, controladores y actuadores.
VALVULAS DE SEGURIDAD	Previenen situaciones peligrosas en la caldera liberando presión excesiva y evitando sobrecargas.
PRESOSTATO:	Monitorea la presión interna y activar o desactivar automáticamente el sistema de combustión cuando la presión alcanza un valor límite.





# Sugerencias selección de instrumentos

40

Al seleccionar instrumentos para el sistema de automatización de una caldera, es importante tener en cuenta los siguientes criterios técnicos para asegurar su funcionalidad, durabilidad y precisión:

- **Rango de Medición Adecuado:** El rango del instrumento debe superar el rango operativo del proceso, incluyendo un margen de seguridad que evite saturación de lectura en condiciones extremas.
- **Precisión y Exactitud:** Los instrumentos deben cumplir con tolerancias apropiadas para este tipo de aplicación. A continuación, se presentan valores de referencia recomendados:

TOLERANCIAS	
<b>PRESION</b>	$\pm 0.2$ bar a $\pm 0.5$ bar
<b>FLUJO DE VAPOR</b>	$\pm 1.5 - 2.5$ % de la lectura del sensor
<b>TEMPERATURA</b>	$\pm 1 - 5$ °C
<b>NIVEL DEL AGUA</b>	$\pm 5$ %
<b>FLUJO DE COMBUSTIBLE (BIOMASA)</b>	$\pm 3 - 5$ % de la lectura del sensor
<b>FLUJO DE AIRE DE COMBUSTION</b>	$\pm 2 - 3$ % de la lectura del sensor
<b>MONOXIDO DE CAMBONO</b>	$\pm 10$ ppm
<b>OXIGENO</b>	$\pm 0.5$ %

- **Resistencia a Condiciones Ambientales:** Los instrumentos deben ser aptos para operar bajo condiciones presentes en salas de calderas: temperaturas elevadas, alta humedad, vibraciones mecánicas y presencia de polvo.
- **Compatibilidad de Señales:** Asegurar la correcta integración entre instrumentos y el sistema de control mediante convertidores de señal o adaptadores de comunicación cuando sea necesario.
- **Evitar Sobredimensionamiento:** No seleccionar dispositivos con características excesivas o no requeridas para el proceso, ya que esto puede aumentar innecesariamente los costos y la complejidad.
- **Certificación y Soporte Técnico:** Priorizar instrumentos con certificaciones industriales reconocidas y disponibilidad de repuestos, servicio técnico y mantenimiento local.
- **Documentación Técnica:** Obtener o generar la ficha técnica detallada de cada instrumento o dispositivo utilizado en el sistema, incluyendo sus características eléctricas, rangos, precisiones y condiciones de operación.

# Complementos y sugerencias programación

41

Antes de iniciar la etapa de programación del PLC, es recomendable realizar una planificación estructurada de las variables que se utilizarán en el sistema. Esto incluye la creación de una convención de nombres que identifique claramente:

- La ubicación o subsistema de origen (por ejemplo, caldera, tanque, horno, etc.).
- La función o variable monitoreada/controlada (como presión, temperatura, flujo, etc.).
- El tipo de dispositivo involucrado (sensor, actuador, bomba, válvula, entre otros).

Elemento	Simbolo
Caldera	Boil
Caldera Acuatubular	Ca
Caldera Pirotubular	Cp
Valvula	Vlv
Bomba	Pump
Nivel	Lvl
Temperatura	Temp
Presion	Pres
Flujo	Flow
SetPoint	Sp
Valor del proceso	Pv
Comando	Cmd
Alarma	Alm
Alta/Alta Alta	H/HH
Baja/Baja Baja	L/LL
Dispositivo de visualizacion	Dsp
Dosificador	Dosif
Hmi	Hmi
Sensor	Sens
Actuador	Act
Tanque	Tk
Combustible	Fuel
Valvula de encendido	Ign
Llenado	Fill

Elemento	Simbolo
Vaciado	Drain
Potenciometro	Pot
Estado/Feedback	St
Recirculacion	Recirc
Precalentador	Preh
Aire	Air
Vapor	Steam
Presostato	SwPres
Termostato	SwTemp
Interruptor general	Brk
Interlock	Intlk
Encendido automatico/manual	AutoMan
Modo de operación	Mode
Temporizador	Tmr
Estado de fallo	Fault
Reset	Rst
Turbina	Turb
Intercambiador de calor	Hex
Enfriador	Chill
Filtro	Filt
Ventilador	Fan
Soplador de Aire	Blwr
Valvula de seguridad	Srv



# Complementos y sugerencias programación

42

Una vez definida la convención, se deben crear dos listas de variables: una para entradas físicas (señales recibidas desde el campo) y otra para salidas físicas (señales enviadas a actuadores). Esta organización mejora la claridad del código, facilita el diagnóstico y permite un crecimiento ordenado del sistema. Se sugiere mantener abreviaturas normalizadas a lo largo de todo el proyecto.

salidas físicas			
	Nombre	Tipo de datos	Dirección
1	Boil_Vlv_Drain_H	Bool	%Q8.0
2	Boil_Vlv_Drain_M	Bool	%Q8.1
3	Boil_Vlv_Drain_L	Bool	%Q8.2
4	Cp_Pump	Bool	%Q8.3
5	Ca_Pump	Bool	%Q8.4
6	Boil_Fan_primario	Bool	%Q8.5
7	Boil_Fan_tiro	Bool	%Q8.6
8	Boil_Blwr_biomasa_Left	Bool	%Q8.7
9	Tk_Cp_Vlv_Drain	Bool	%Q9.0
10	Tk_Ca_Vlv_Drain	Bool	%Q9.1
11	Boil_Vlv_Temp_Drain	Bool	%Q9.2
12	Boil_Blwr_biomasa_Right	Bool	%Q9.3

entradas físicas			
	Nombre	Tipo de datos	Dirección
1	Boil_Temp_in_Pv	Int	%IW0
2	Boil_temp_out_Pv	Int	%IW2
3	Boil_Pres_Pv	Int	%IW4
4	Boil_Lvl_Pv	Int	%IW6
5	Ca_Lvl_Pv	Int	%IW8
6	Ca_Temp_Pv	Int	%IW10
7	Cp_Lvl_Pv	Int	%IW12
8	Cp_Temp_Pv	Int	%IW14

Además, se recomienda distribuir las variables en bloques de datos (DB) según su función dentro del sistema, lo que mejora la trazabilidad y simplifica el mantenimiento. Ejemplos de agrupación incluyen DB\_PresionPID, DB\_DepresionPID, DB\_ConversionUnidades, DB\_Alarmas y DB\_HMI. Esta estructura modular favorece una programación segmentada y ordenada.

Var_Ctrl_Tks_Agua		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	Ca_Pump_St_L	Int
3	Cp_Pump_St_L	Int
4	Cp_Pump_St_H	Int
5	Ca_Pump_St_H	Int
6	Boil_Lvl_Sp	Int
7	Boil_Lvl_H_Alm	Int
8	Boil_Lvl_L_Alm	Int

Var_Conv		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	Boil_Pres(Psi)	Int
3	Boil_Depres(Psi)	Int
4	Boil_Lvl(%)	Int
5	Boil_Pres_Max	Int
6	Boil_Pres_Min	Int
7	Tk_Cp_Lvl(%)	Int
8	Tk_Ca_Lvl(%)	Int
9	Boil_Depres_Max	Int
10	Boil_Depres_Min	Int
11	Tk_Cp_Temp(°C)	Int
12	Tk_Ca_Temp(°C)	Int
13	Boil_Temp(°C)	Int
14	Act_Fan_biomasa(Hz)	Int
15	Act_Fan_tiro(Hz)	Int

Var_PID_DEPRESS		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	Boil_Depres_PID_KP	Real
3	Boil_Depres_PID_Ti	Real
4	Boil_Depres_PID_TD	Real
5	Boil_Depres_PID_In_Max	Int
6	Boil_Depres_PID_In_Min	Int
7	Boil_Depres_PID_Out_Max	Int
8	Boil_Depres_PID_Out_Min	Int
9	Boil_Depres_Sp	Int
10	AutoMan_PID_depresi...	Bool
11	Out_PWM_Depres	Bool

Var_Set_biomasa		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	Act_1_Biomasa_Boil_...	Int
3	Act_2_Biomasa_Boil_...	Int
4	Act_Biomasa_boil_Tmr	DInt
5	Act_Biomasa_Var_Time	Time
6	Act_1_Biomasa_Boil_...	Time
7	Act_2_Biomasa_Boil_...	Time

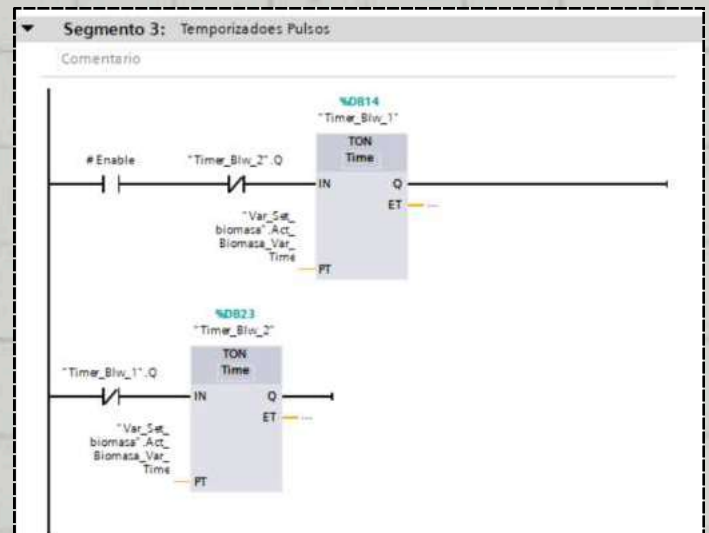
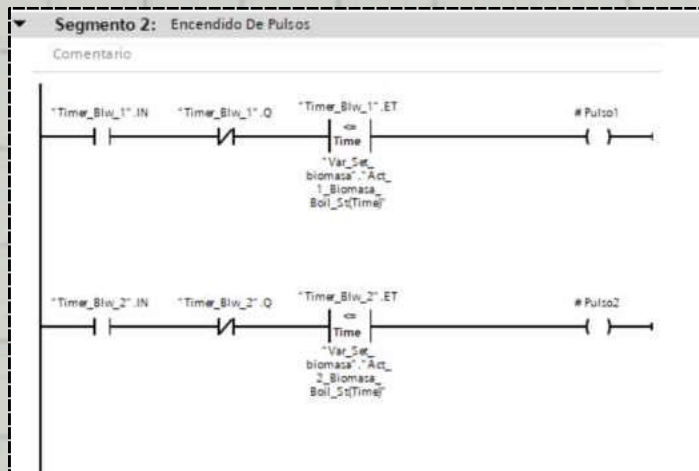
Alarmas_HH_LL		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	Boil_Depres_HH_Alm	Int
3	Boil_Depres_H_Alm	Int
4	Boil_Depres_L_Alm	Int
5	Boil_Depres_LL_Alm	Int
6	Boil_Lvl_HH_Alm	Int
7	Boil_Lvl_LL_Alm	Int
8	Boil_Pres_HH_Alm	Int
9	Boil_Pres_H_Alm	Int
10	Boil_Pres_L_Alm	Int
11	Boil_Pres_LL_Alm	Int
12	Boil_Pres_PID_ini_Alm	Bool
13	Boil_Pres_PID_Fine_Alm	Bool

Var_PID_PRESS		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	Boil_Pres_PID_KP	Real
3	Boil_Pres_PID_Ti	Real
4	Boil_Pres_PID_TD	Real
5	Boil_Pres_PID_In_Min	Int
6	Boil_Pres_PID_In_Max	Int
7	Boil_Pres_PID_Out_Min	Int
8	Boil_Pres_PID_Out_Max	Int
9	Boil_Pres_Sp	Int
10	AutoMan_PID_presion	Bool
11	Out_PWM_Pres	Bool

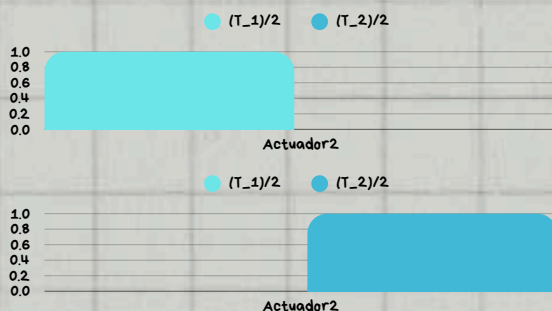
# Complementos y sugerencias programación

43

En sistemas que operan de forma intercalada, donde un actuador entra en funcionamiento mientras otro permanece en reposo, se utiliza una lógica de pulsos alternados: cuando el pulso del actuador 1 está activo, el del actuador 2 permanece inactivo, y viceversa. Esta lógica es común en etapas como la alimentación de biomasa o la compensación de oxígeno, ya que permite distribuir de forma balanceada la carga de trabajo y reducir el desgaste mecánico de los equipos.



Este tipo de funcionalidad puede implementarse mediante un bloque de funciones (FC), ideal para el control de elementos sin retención de memoria, como sería el caso de un sistema de control de dos motores encargados de soplar biomasa hacia la cámara de combustión. El uso de FC permite una programación sencilla, reutilizable y enfocada en ejecutar tareas lógicas sin necesidad de almacenamiento interno.





La selección del tipo de HMI debe basarse en las características del proceso, las condiciones del entorno y las necesidades del usuario. En aplicaciones industriales, no existe una única solución universal; por el contrario, es común utilizar una combinación de interfaces HMI para cubrir tanto el monitoreo como el control local y remoto de forma complementaria.

Tipo de HMI	Descripción	Ventajas	Aplicación en la caldera
<b>HMI basado en panel táctil</b>	Dispositivo independiente con pantalla táctil y conexión a PLC.	Fácil de instalar, resistente a entornos industriales.	Control local de caldera, supervisión en tiempo real.
<b>HMI basado en PC Industrial (SCADA)</b>	Software HMI en un PC robusto para entornos industriales.	Mayor capacidad gráfica y almacenamiento de datos.	Integración con sistemas SCADA y registro de tendencias.
<b>HMI basado en la nube (Web HMI)</b>	Permite acceso remoto vía navegador web.	Monitoreo desde cualquier dispositivo con internet.	Supervisión a distancia de la caldera, reportes en línea.
<b>HMI portátil (Tabletas Industriales o Paneles Remotos)</b>	Dispositivo móvil para acceso inalámbrico.	Movilidad y flexibilidad para el operador.	Ajustes y monitoreo en campo sin necesidad de un panel fijo.

Sin importar el tipo de HMI implementado, es importante que cuente con una estructura funcional mínima que permita una operación segura, clara e intuitiva. Esta estructura debe contemplar:

- Pantallas de navegación bien jerarquizadas.
- Indicadores de estado y alarmas visibles.
- Accesos controlados por nivel de usuario.
- Representación clara de variables críticas del proceso.

En la tercera sección del sistema, correspondiente al nivel de supervisión, se desarrolla una interfaz HMI diseñada para facilitar la interacción del operador con el proceso completo, tomando como base las capas previas de control y adquisición de datos. Esta interfaz se compone de un conjunto de pantallas funcionales orientadas a la supervisión, navegación y respuesta operativa.

PANTALLA DE ESTADOS

PANTALLA DE VARIABLES

PANTALLA DE INICIO

CONFIGURACION

AJUSTE PID

ALARMA

## Pantalla de Inicio (Dashboard Principal):

Esta es la interfaz central del sistema HMI. Proporciona una visión global del proceso y acceso directo a las demás secciones. Su diseño se estructura en tres zonas principales:



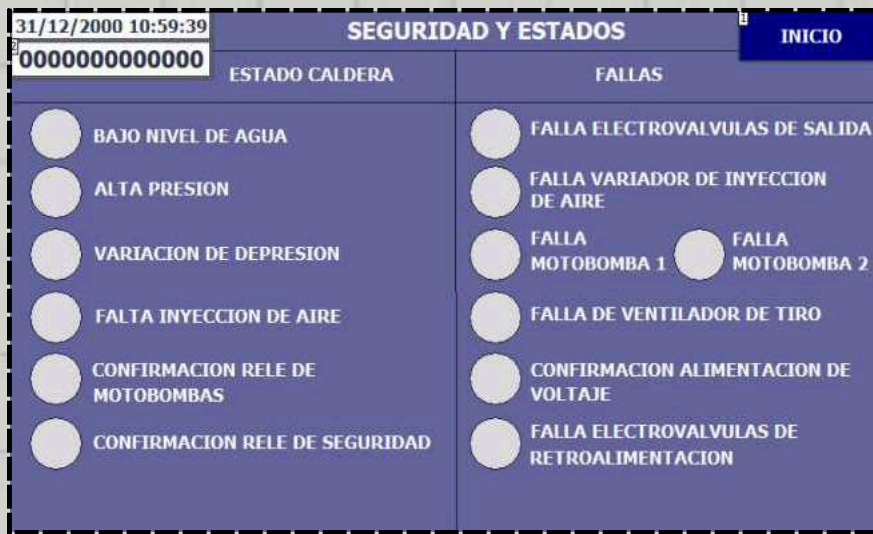
La pantalla se estructuró de la siguiente manera:

- Zona de navegación: Botonera de acceso rápido a las distintas pantallas del sistema.
- Resumen de variables críticas del proceso: Indicadores en tiempo real que permiten al operador tener un panorama general del estado de la caldera.
- Panel de información general: Visualiza datos como fecha, hora y usuario actualmente autenticado.



## Pantalla de estados:

Permite el monitoreo específico de señales relevantes para el funcionamiento seguro de la caldera, con énfasis en la detección de condiciones críticas y posibles fallas operativas. Su estructura incluye:



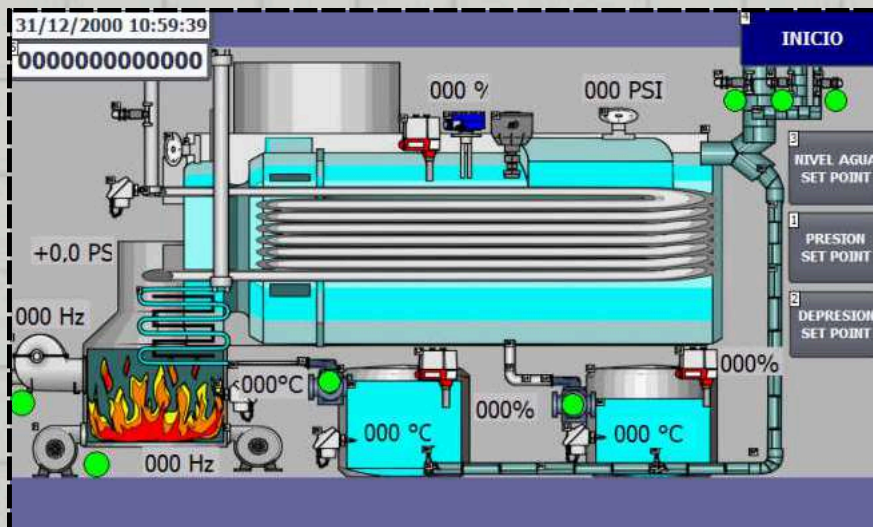
La interfaz se estructuró de la siguiente manera:

- **Sección de navegación:** Botón de retorno a la pantalla de inicio para facilitar la movilidad entre pantallas.
- **Visualización de eventos críticos:** Indicadores luminosos que reflejan el estado actual de variables clave como nivel de agua, presión, depresión y estados de seguridad asociados a relés y motobombas.
- **Monitoreo de fallas en actuadores:** Alertas visuales para detectar posibles anomalías en componentes como motobombas, electroválvulas, variadores de frecuencia y ventiladores.

- **Panel de información general:** Ubicado en la parte superior de la pantalla, incluye la fecha, la hora y la identificación del operador activo.

## Pantallas de variables:

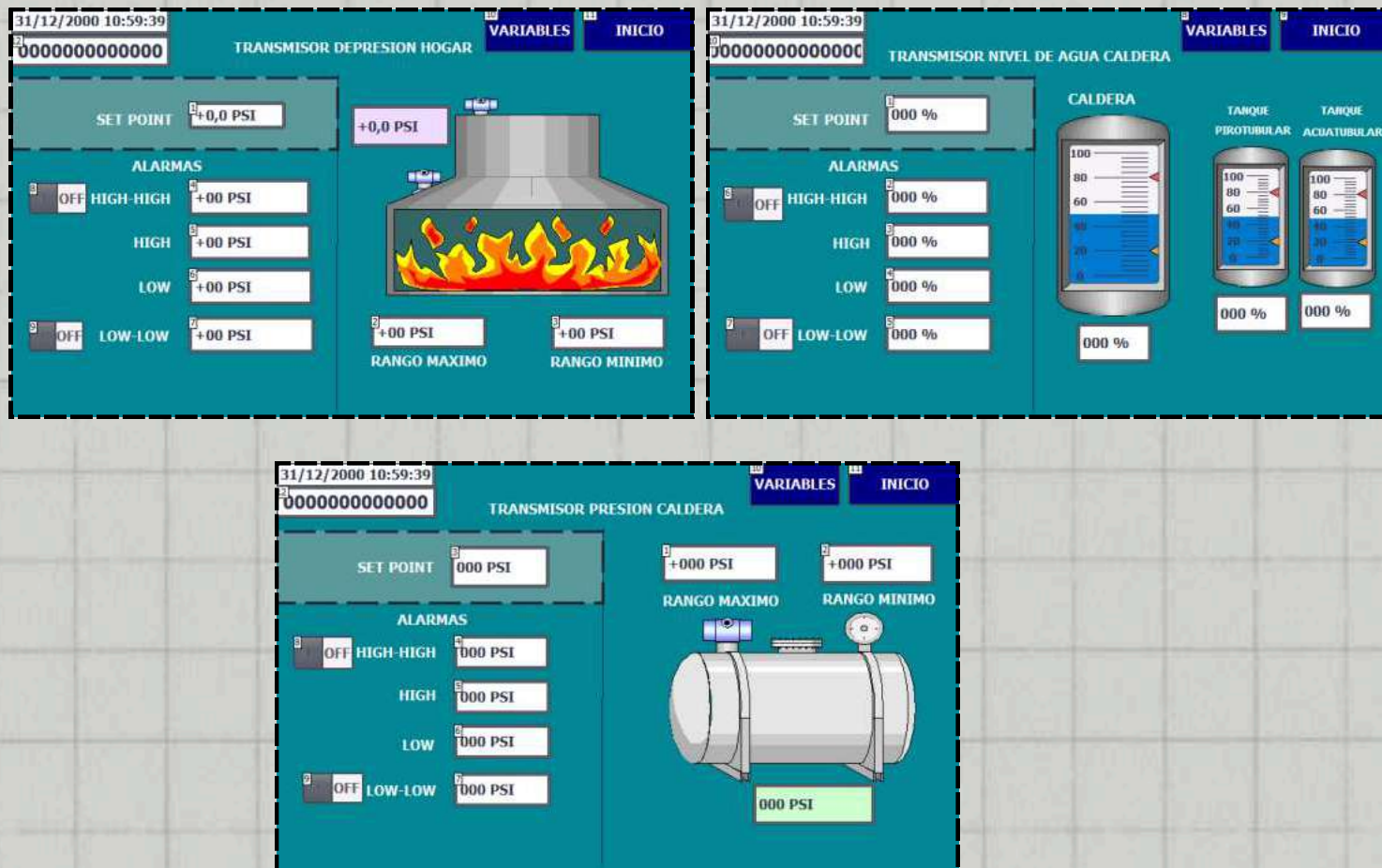
Estas pantallas están destinadas a la supervisión en tiempo real de las variables físicas clave del proceso térmico de la caldera, así como a la gestión del encendido del sistema y la configuración de parámetros operativos críticos, incluyendo límites de alarma.



La pantalla general de variables proporciona una visión consolidada de las señales adquiridas desde sensores de presión, temperatura, nivel, entre otros. Además, muestra el estado de actuadores relevantes y dispone de una sección de navegación para retornar al menú principal o acceder a pantallas específicas para el ajuste de cada variable.



## Pantallas de variables:



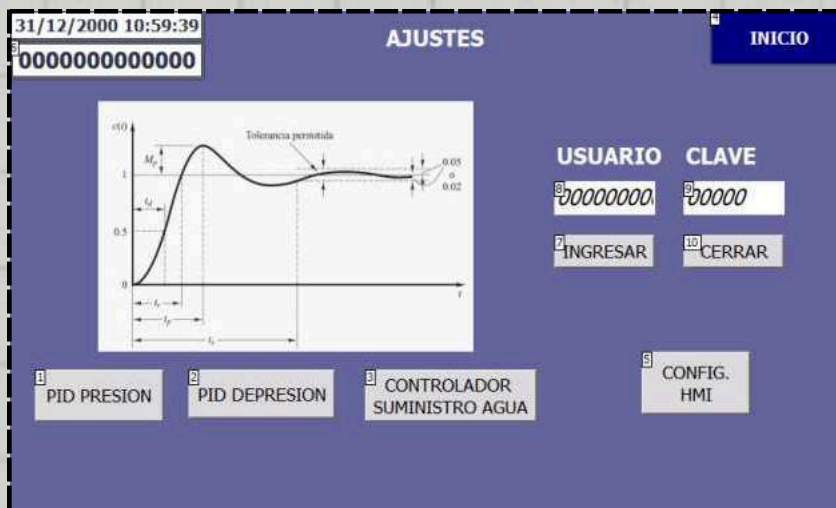
Cada variable cuenta con una pantalla dedicada estructurada de la siguiente manera:

- **Monitoreo en tiempo real:** Visualización continua de los valores actuales medidos por los transmisores del sistema (presión, temperatura, nivel, etc.).
- **Ajuste de Set Point:** Definición del valor objetivo de operación para cada variable.
- **Configuración de alarmas:** Establecimiento de umbrales para alarmas tipo HH, H, L y LL, con el fin de detectar desviaciones críticas.
- **Rangos de medición:** Ajuste de los valores mínimo y máximo del transmisor, lo que facilita su calibración y correcta visualización.
- **Controles de navegación:** Botonera para desplazarse entre variables o volver al menú principal.
- **Panel de información general:** Visualiza fecha, hora del sistema y usuario activo



## Ajuste PID:

Esta interfaz permite configurar los parámetros de los controladores PID asociados a las variables críticas del proceso. El operador puede seleccionar el lazo de control correspondiente (presión, temperatura, nivel, etc.) y modificar los coeficientes Kp (proporcional), Ti (integral) y Td (derivativo), según los requerimientos operativos. La pantalla también indica si el lazo está operando en modo manual o automático.



Desde una pantalla principal de ajustes, el operador puede acceder a la configuración individual de cada controlador PID o ingresar a opciones generales del sistema.

Esta funcionalidad puede ubicarse libremente dentro del entorno HMI, según el diseño implementado.



## Estructura de las Pantallas de Ajuste PID.

- **Configuración de parámetros PID:** Modificación directa de los valores de Kp, Ti y Td, o definición de límites operativos para el comportamiento del controlador.
- **Modo de operación:** Permite seleccionar entre modo manual o modo automático, habilitando control directo o ajuste automático mediante la lógica del sistema.
- **Ajuste de rangos:** Definición de los valores mínimos y máximos para la señal de referencia (Set Point) y la señal de salida del PID, garantizando una respuesta segura y controlada.
- **Controles de navegación:** Botones de acceso a otros lazos de control o retorno al menú principal.
- **Panel de información general:** Visualización constante de la fecha, hora y usuario activo, asegurando trazabilidad durante cualquier modificación.

## configuración:

Esta interfaz está destinada a la modificación de parámetros técnicos del sistema de control, con acceso restringido a personal autorizado, como ingenieros o técnicos de mantenimiento. Desde esta sección se gestionan configuraciones que afectan el comportamiento global del HMI, incluyendo aspectos de red, visualización y sincronización temporal.

## Estructura de la Pantalla de Configuración.

- **Reinicio del sistema a valores predeterminados:** Función que permite restaurar el sistema a su configuración base, útil para mantenimiento correctivo o recuperación de fallos.
- **Gestión de usuarios:** Herramienta para iniciar o cerrar sesión, controlar el acceso y registrar la actividad de los usuarios que interactúan con el sistema.
- **Ajustes visuales del HMI:** Personalización de elementos gráficos como esquemas de color, temas o disposición de componentes en pantalla.
- **Configuración de zona horaria y reloj del sistema:** Permite ajustar fecha, hora y zona horaria, asegurando la precisión en el registro de eventos y alarmas.
- **Controles de navegación:** Acceso rápido a otras secciones del sistema mediante botones de retorno o avance.
- **Panel de información general:** Muestra de forma permanente la fecha, hora actual y usuario activo, garantizando trazabilidad en las acciones realizadas.



## motores:

Esta interfaz está dedicada a la supervisión y configuración del sistema de motores involucrados en el proceso de alimentación de biomasa hacia la caldera. Su propósito es permitir el monitoreo en tiempo real de los actuadores y la configuración de parámetros asociados al arranque y operación de los motores.

09/07/2025 17:16:25

MOTORES

INICIO

**ALIMENTACION DE BIOMASA**

ACTUADOR 1

50 %

PORCENTAJE ACTIVADO 1

ACTUADOR 2

70 %

PORCENTAJE ACTIVADO 2

CICLO DE FUNCIONAMIENTO

1 Sec

**ARRANQUES**

MOTOR

TIPO DE ARRANQUE

TIEMPO MAXIMO DE ARRANQUE

0 Sec

MODIFICAR

## Estructura de la Pantalla.

- **Navegación entre pantallas:** Botones de acceso rápido al menú principal o a otras secciones relacionadas del sistema HMI.
- **Panel de información general:** Visualización constante de la fecha, hora del sistema y usuario activo, lo cual garantiza trazabilidad durante cualquier intervención.
- **Alimentación de biomasa:** Estado operativo de los dos actuadores principales, con visualización del porcentaje de activación en tiempo real y del tiempo acumulado de operación del ciclo (en segundos).
- **Arranques:** Sección lateral para seleccionar el motor a configurar (por ejemplo, motor primario), definir el tipo de arranque (apagado, automático, etc.) y establecer el tiempo máximo permitido para su activación.
- **Botón de modificación:** Opción para editar los parámetros configurados en la sección de arranques, permitiendo ajustes únicamente por personal autorizado.

## 51

[illegible]

- **Visualización de alarmas activas:** Muestra en tiempo real las alarmas que se encuentran disparadas en el sistema, con codificación por nivel de prioridad.
- **Historial de eventos:** Registro cronológico de alarmas y mensajes de precaución, útil para análisis de causas y evaluación posterior de fallas.
- **Controles de navegación:** Accesos directos para retornar al menú principal o desplazarse entre otras pantallas del HMI.

Dado que la caldera opera bajo condiciones críticas y con riesgos inherentes, es fundamental contar con un sistema de alarmas visuales y sonoras que advierta de manera anticipada cualquier desviación, permitiendo aplicar acciones correctivas antes de que se comprometa la integridad de la instalación o la seguridad del personal.

Nivel	Nombre común	Descripción
<b>Prioridad Crítica</b> (Nivel 1)	Alarma de emergencia 	Indica una condición peligrosa que puede causar daño grave a personas, equipo o instalaciones. Requiere acción inmediata y a menudo detiene el sistema.
<b>Alta Prioridad</b> (Nivel 2)	Alarma mayor 	Muestra una falla operativa importante que no es aún peligrosa, pero puede llevar a condiciones inseguras si no se corrige rápidamente.
<b>Media Prioridad</b> (Nivel 3)	Alarma menor / advertencia 	Señala una desviación del funcionamiento normal que no afecta inmediatamente la seguridad, pero requiere revisión o corrección para evitar deterioros.
<b>Baja Prioridad</b> (Nivel 4)	Mensaje informativo 	No es una alarma propiamente dicha, sino una notificación sobre estados, mantenimiento o cambios de operación. No requiere intervención urgente.



# Alarmas y mensajes de precaución

52

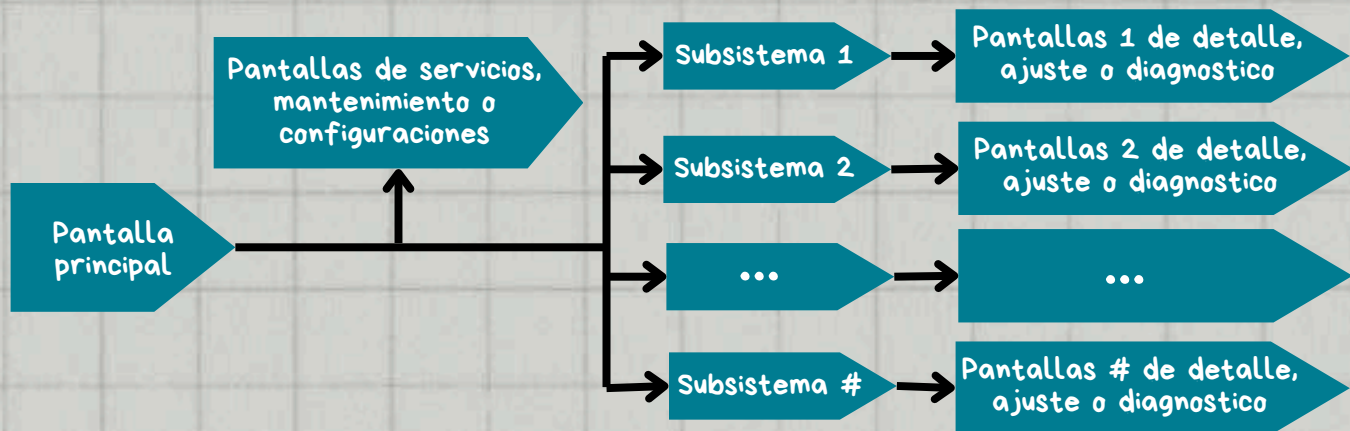
A continuación, se presenta una serie de alarmas que comúnmente se integran en sistemas de calderas, organizadas por niveles de prioridad según su impacto en el proceso.

Código de Alarma	Descripción	Causa posible	Acción automática del sistema	Acción recomendada al operador
A01	Bajo nivel de agua en caldera	Falla de alimentación, fuga, flotador atascado	Apagado del quemador y activación de alarma sonora/visual	Verificar bomba de alimentación y sistema de nivel
A02	Falla de válvula de alivio, bloqueo de vapor	Falla de válvula de alivio, bloqueo de vapor	Detención del quemador, apertura automática de válvula de seguridad	Verificar línea de vapor y válvula de seguridad
A03	Falla en encendido del quemador	Falla de chispa, falta de combustible, sensor defectuoso	Bloqueo del sistema de combustión	Revisar sistema de encendido y suministro de combustible
A04	Llama apagada durante operación	Combustible insuficiente, apagado accidental	Cierre de válvula de combustible y parada del quemador	Revisar inyector, presión de combustible y filtros
A05	Temperatura excesiva en cámara	Combustión anormal, flujo de aire insuficiente	Corte del suministro de combustible	Verificar ventilación forzada y calidad del combustible
A06	Sensor de presión desconectado	Cableado dañado, sensor defectuoso	Cambio a modo de operación manual o segura	Inspeccionar conexión y reemplazar sensor
A07	Falla en bomba de alimentación	Motor quemado, obstrucción en línea	Detención del sistema por seguridad	Revisar bomba, filtros y válvulas de retención
A08	Presión de vapor baja en línea	Demanda alta o falla de control	Alerta visual, sin apagado automático si es tolerable	Verificar válvulas de control y fugas
A09	Falta de señal en PLC o HMI	Falla de comunicación, caída de red	Activación de modo de emergencia/local	Revisar conexión PLC-HMI o usar control manual
A10	Nivel alto de agua en caldera	Fallo de válvula de control de agua	Alarma visual, bloqueo preventivo del quemador si persiste	Drenar exceso y revisar control de nivel

El diseño de una interfaz hombre-máquina (HMI) no solo debe centrarse en representar gráficamente las variables del proceso, sino también en facilitar la interacción clara, jerárquica y segura entre el operador y el sistema automatizado. A continuación, se presentan una serie de recomendaciones clave que pueden aplicarse a prácticamente cualquier entorno industrial para lograr un diseño funcional, intuitivo y confiable

## Estructura jerárquica y navegación

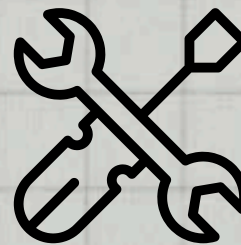
- Diseño organizado por niveles: Se recomienda establecer una jerarquía de pantallas clara, que incluya:
  - Una pantalla principal que proporcione una vista general del sistema.
  - Pantallas por subsistemas, que agrupen funciones relacionadas (como alimentación, control de temperatura, presiones, etc.).
  - Pantallas de detalle o diagnóstico, donde se visualicen variables específicas, estados de equipos, tendencias o funciones de mantenimiento.
  - Pantallas de servicio o mantenimiento, destinadas a ajustes técnicos, pruebas del sistema y gestión de registros y respaldos.



- Facilidad de navegación: Implementar botones de navegación visibles, bien rotulados y con retroalimentación visual. Se sugiere incorporar un menú principal persistente o una barra de navegación que facilite el acceso entre secciones.
- Gestión de accesos: Es fundamental establecer niveles de usuario con permisos diferenciados para proteger las configuraciones críticas del sistema. Esto incluye bloquear la modificación de parámetros sensibles a usuarios no autorizados.



Operador



Técnico



Ingeniero



## Elementos visuales, interacción y simbología

- Uso estandarizado de colores e íconos: La interfaz debe emplear convenciones visuales reconocibles.



Verde: estado activo o correcto..



Rojo: condición de alarma o falla.



Gris: equipo inactivo o fuera de servicio

- Íconos representativos y consistentes: Utilizar símbolos gráficos comprensibles, con formas y funciones coherentes en toda la interfaz. Esto reduce el tiempo de reacción y mejora la comprensión del operador.
- Diferenciación entre entradas y salidas: Es recomendable separar visualmente los espacios destinados a la introducción de datos (entradas) de aquellos que solo muestran información del sistema (salidas). Esto previene errores de operación y mejora la interacción del usuario

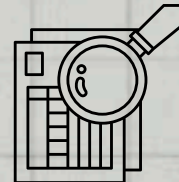
## Registro y análisis de variables

- Tendencias y almacenamiento de datos: Se recomienda habilitar el registro histórico de variables relevantes para facilitar el análisis de comportamiento, ajustes de control o diagnósticos post-evento. Esto también es útil para auditorías o mantenimiento predictivo.

## Gestión y notificación de alarmas

Un sistema HMI eficiente debe contar con un esquema claro y efectivo de detección y notificación de alarmas, adaptado a la criticidad del proceso. Las principales recomendaciones incluyen:

- Tipos de notificación:
  - Indicadores visuales dentro de la HMI (colores, parpadeo, íconos).
  - Alertas sonoras diferenciadas, especialmente en alarmas críticas.
  - Mensajes de texto explicativos, transmitidos a dispositivos como HMI, móviles o portátiles, que notifican al operador sobre la naturaleza del evento detectado.
  - Luminarias externas, como balizas o torretas para aviso a distancia.
  - Bitácora de eventos, con fecha, hora, tipo de alarma y estado de confirmación por parte del operador.
  - Vibración u otros mecanismos físicos, en caso de uso de dispositivos móviles o portátiles.



- Evitar saturación de alarmas: Para no generar fatiga de operador ni reducir la atención a eventos importantes, es recomendable filtrar y priorizar las alarmas verdaderamente críticas. También se deben establecer condiciones de habilitación, por ejemplo, desactivando alarmas de subsistemas que están fuera de servicio.
- Pruebas y simulación: Antes de poner el sistema en marcha, se debe realizar una validación completa de las alarmas en distintos escenarios operativos. Idealmente, la HMI debe ofrecer un modo de simulación que permita entrenar operadores sin riesgo para el proceso real.

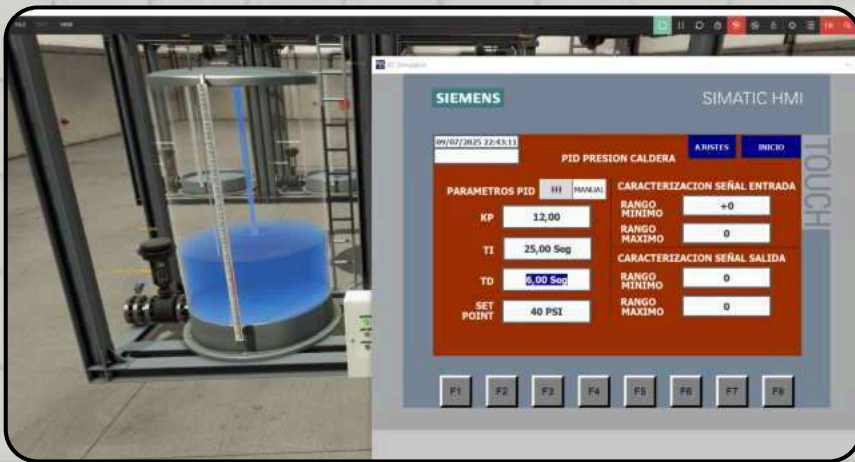


# Simulación

Dada la complejidad que implica el funcionamiento de una caldera, este tipo de ejemplos no se pueden probar directamente en una empresa en operación. Por este motivo, recurrimos a herramientas de simulación que permiten validar los elementos básicos desarrollados en esta guía. Para ello se utilizó TIA Portal junto con PLCSIM, lo que facilita la verificación de la lógica de control de manera virtual. Adicionalmente, se empleó Factory I/O para representar elementos físicos simulados, permitiendo la conexión con PLCSIM y la simulación de entradas y salidas físicas tanto digitales como analógicas.

De este modo, se adaptó parte de la programación para realizar pruebas de ejemplo que muestran cómo se visualizan y controlan variables del sistema, incluyendo la implementación del control PID, así como el uso de elementos simulados como los ventiladores (blowers), entre otros.

Esta demostración se encuentra grabada en video para su consulta, y todo el código utilizado está disponible mediante un enlace incluido en el material complementario de la guía.



El programa Factory I/O no cuenta específicamente con modelos de calderas, pero sí ofrece varios elementos controlables, como un tanque de agua equipado con sensores, entradas y salidas. Por este motivo, se utilizó este tanque como base para realizar la prueba del control PID de presión, simulando la variable de presión a partir del nivel de agua y controlando tanto la entrada como la salida del tanque para estabilizarla.

Adicionalmente, otros elementos como los ventiladores (blowers) se representaron utilizando luminarias, que permiten simular su función de trabajo intercalado dentro del entorno virtual.

Como complemento, esta demostración se encuentra grabada en video para su consulta. En el video se observa de manera práctica la organización de los bloques de programación, la visualización de variables y el funcionamiento del sistema en tiempo real. Además, todo el código utilizado está disponible mediante un enlace incluido en el material complementario de la guía, para que estudiantes y profesionales puedan revisarlo o adaptarlo a sus propios proyectos.





# Nota Final

Este documento ha sido elaborado como una herramienta de orientación práctica para la automatización de calderas híbridas utilizadas en la industria del aceite de palma. Su estructura modular y el enfoque basado en un caso real buscan facilitar la comprensión de los conceptos clave, el diseño de sistemas de control y la selección de instrumentos adecuados, considerando tanto los requisitos técnicos como las normativas vigentes.

Asimismo, se incluyó una demostración práctica mediante simulación, complementada con un video explicativo y el código fuente desarrollado, con el objetivo de ofrecer un ejemplo claro y replicable para estudiantes, profesionales.

Se espera que esta guía contribuya a mejorar la seguridad operativa, optimizar los procesos y fomentar la adopción de tecnologías de automatización en el sector industrial, sirviendo como punto de partida para futuras implementaciones, investigaciones y desarrollos en el área.

Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento a Angie Lizcano, ingeniera de la Universidad Industrial de Santander y directora de la empresa que nos recibió, por abrirnos las puertas de Bucarelia y mostrarnos en funcionamiento su caldera. Gracias a ello, pudimos dialogar con los funcionarios que la operan y conocer de primera mano qué aspectos de los sistemas de control han resultado más efectivos y cuáles presentan oportunidades de mejora, información que se ha reflejado en distintos apartados de esta guía. Asimismo, agradecemos a Catherin Guerrero por su valioso apoyo como ingeniera de automatización durante el desarrollo de este proyecto.

# Referencias

- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (FEDEPALMA). (2023): Informe de gestión 2023, utilizado en el contexto del proyecto de automatización de calderas para la industria de aceite de palma, especialmente para la sección del contexto AEDIT\_DGT\_Informe\_de\_Gestion.pdf (fedepalma.org).
- TOTVS LATAM. (25 enero 2024). Automatización industrial: una guía completa y actualizada sobre el tema. Automatización industrial: una guía completa y actualizada sobre el tema - TOTVS. Automatización industrial: una guía completa y actualizada sobre el tema - TOTVS
- Apaza, U., Delgado, A., Garcilazo, I., & Obregón, I. (2014). Sistema de automatización de un caldero de 30 BHP para el mejoramiento de la eficiencia energética utilizando variables termodinámicas.
- Rodríguez Vásquez, J. R. (2006). Desarrollo de un sistema de control avanzado de la presión del vapor en una caldera de tubos de fuego [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. PUCP.
- Ministerio de Minas y Energía. (2022). Eficiencia energética: Auditorías energéticas en grandes industrias. Bogotá, Colombia.
- Francisco Alonso Valle. C.N.N.T. Madrid. (1996). LA SEGURIDAD EN CALDERAS. MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES.
- Ministerio de Minas y Energía. (2024). Resolución 1857 de 2024. Bogotá, Colombia.
- Sabogal, J. (2018): Los trabajos de grado de la universidad. (Accidentalidad En Plantas Extractoras De Aceite De Palma Africana En Colombia). Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá – Colombia. Este documento se ha utilizado en la justificación del problema del proyecto sobre riesgos en plantas extractoras de aceite de palma. Repositorio institucional UNIMINUTO: Accidentalidad en plantas extractoras de aceite de palma africana en Colombia