

# **Manual operativo estándar para la caldera del Laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Química**

Documento elaborado en el marco del proyecto de grado

Análisis de riesgos y fortalecimiento de la seguridad operacional en la caldera del Laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Química

Autores

Dayra Leonela Rojas Sierra  
Laura Tatiana Archila Lizarazo

Director

Diana Paola Duarte Duarte  
Ingeniera Química, PhD

Codirector

Humberto Escalante Hernández  
Ingeniero Químico, PhD

Universidad Industrial De Santander  
Facultad De Ingenierías Fisicoquímicas  
Escuela De Ingeniería Química  
Bucaramanga

2026

## **1. Objetivo**

Establecer los procedimientos operativos estándar, las medidas de seguridad y los protocolos de respuesta ante emergencias para la operación segura de la caldera del Laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, asegurando la protección del personal, los equipos y las instalaciones.

## **2. Alcance**

Este manual establece los lineamientos para la operación segura de la caldera del Laboratorio de Procesos (LabPro) de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. Incluye las actividades relacionadas con la puesta en marcha, operación, monitoreo, parada, atención de condiciones anormales y respuesta ante emergencias asociadas al equipo. Asimismo, define las responsabilidades del personal involucrado y las medidas de seguridad necesarias para proteger a las personas, las instalaciones y los equipos. Este manual aplica a:

- Estudiantes autorizados del Laboratorio de Procesos.
- Docentes responsables de las prácticas académicas.
- Personal técnico y de mantenimiento autorizado.

## **3. Responsabilidades.**

Con el fin de garantizar una operación segura y adecuada de la caldera, cada uno de los usuarios involucrados deberán cumplir las responsabilidades establecidas en esta sección.

### **3.1. Estudiantes**

- Cumplir estrictamente los procedimientos establecidos en este manual.
- Utilizar los elementos de protección personal requeridos durante la operación.
- No operar la caldera sin la debida autorización ni supervisión.
- Reportar de manera inmediata cualquier condición insegura, alarma o anomalía detectada durante la operación.
- Mantener el área de trabajo en condiciones adecuadas de orden y limpieza.

### **3.2.Docente responsable**

- Autorizar y supervisar la operación de la caldera durante las actividades académicas.
- Verificar el cumplimiento de las condiciones de seguridad establecidas en este manual.
- Garantizar que el personal involucrado conozca los procedimientos operativos y de emergencia.
- Activar los protocolos de emergencia cuando la situación lo requiera.
- Suspender la operación del equipo cuando se identifiquen condiciones que representen un riesgo para las personas o las instalaciones.

### **3.3.Personal técnico**

- Realizar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo del equipo.
- Ejecutar inspecciones, pruebas y calibraciones de los sistemas de control y seguridad.
- Verificar el correcto funcionamiento de la caldera antes de su puesta en operación.
- Reportar oportunamente fallas, deterioros o condiciones que puedan afectar la seguridad y confiabilidad del sistema.
- Mantener actualizados los registros asociados a mantenimiento e inspección del equipo.

#### 4. Glosario

**ACPM:** Combustible derivado del petróleo utilizado en sistemas de combustión industrial, conocido comúnmente como diésel.

**Aislamiento térmico:** Material utilizado para reducir las pérdidas de calor desde la superficie de la caldera hacia el ambiente.

**Alarma:** Señal visual o sonora que advierte al operador sobre una condición anormal o de riesgo durante la operación.

**Barrido del quemador:** Proceso previo al encendido mediante el cual se introduce aire en la cámara de combustión para eliminar posibles acumulaciones de combustible o gases inflamables.

**BHP (Boiler Horsepower):** Unidad utilizada para expresar la capacidad de generación de vapor de una caldera.

**Caldera pirotubular:** Equipo de generación de vapor en el que los gases calientes de combustión circulan por el interior de tubos rodeados por agua.

**Cámara de combustión:** Espacio interno donde ocurre la mezcla y combustión del combustible con el aire para producir energía térmica.

**Chimenea:** Conducto encargado de evacuar los gases de combustión hacia el exterior de manera segura.

**Combustión:** Reacción química entre un combustible y un agente oxidante que libera energía en forma de calor.

**Condensado:** Agua obtenida por la condensación del vapor después de transferir su energía térmica en un proceso.

**Controlador de nivel:** Dispositivo encargado de monitorear y controlar el nivel de agua dentro de la caldera para garantizar una operación segura.

**Controlador de presión:** Instrumento que regula la operación del quemador para mantener la presión de vapor dentro del rango establecido.

**Gas natural:** Combustible gaseoso utilizado para la operación de la caldera, compuesto principalmente por metano.

**Indicador visual de nivel:** Dispositivo de vidrio que permite observar directamente el nivel de agua dentro de la caldera.

**Instrumentación:** Conjunto de instrumentos utilizados para medir, registrar y controlar las variables de proceso.

**LAC (Límite Alto Crítico):** Valor máximo permitido para una variable de operación, cuya superación representa una condición de riesgo que requiere intervención inmediata.

**LAE (Límite Alto Estándar):** Valor superior de la zona normal de operación de una variable de proceso.

**LBC (Límite Bajo Crítico):** Valor mínimo permitido para una variable de operación, cuya disminución representa una condición de riesgo que requiere intervención inmediata.

**LBE (Límite Bajo Estándar):** Valor inferior de la zona normal de operación de una variable de proceso.

**LabPro:** Laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander.

**Manómetro:** Instrumento utilizado para medir la presión de un fluido dentro de una línea o equipo.

**Presión de diseño:** Máxima presión para la cual fue diseñada la caldera de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

**Presión de operación:** Presión de trabajo utilizada durante el funcionamiento normal de la caldera.

**Presostato:** Dispositivo de control que detecta cambios de presión y genera señales para permitir, limitar o detener la operación del sistema.

**P&ID (Piping and Instrumentation Diagram):** Diagrama de tuberías e instrumentación que representa gráficamente los equipos, líneas de proceso, instrumentos y elementos de control de una instalación.

**Purga:** Operación destinada a remover sedimentos, lodos, impurezas o acumulaciones de agua presentes en diferentes partes del sistema.

**Quemador:** Dispositivo encargado de mezclar combustible y aire para producir una combustión controlada dentro de la caldera.

**Resina de intercambio iónico:** Material utilizado en el sistema suavizador para remover iones responsables de la dureza del agua.

**Servomotor:** Dispositivo mecánico que acciona compuertas o mecanismos de control para regular el flujo de aire o combustible.

**Sistema de alimentación de agua:** Conjunto de equipos y tuberías destinados a suministrar agua tratada al interior de la caldera.

**Sistema de control y seguridad:** Conjunto de instrumentos, sensores, alarmas y dispositivos diseñados para supervisar las condiciones de operación y proteger la integridad del equipo.

**Suavizador de agua:** Equipo utilizado para reducir la dureza del agua mediante procesos de intercambio iónico antes de su ingreso a la caldera.

**Transferencia de calor:** Proceso mediante el cual la energía térmica generada por la combustión se transmite al agua para producir vapor.

**Válvula de seguridad:** Dispositivo diseñado para liberar vapor automáticamente cuando la presión interna supera el valor máximo permitido.

**Ventana operativa:** Rango de valores dentro del cual una variable de proceso debe mantenerse para garantizar una operación segura y eficiente.

**Vapor:** Fluido gaseoso generado por el calentamiento del agua dentro de la caldera y utilizado como fuente de energía térmica.

## **5. Descripción de sistema**

La caldera del Laboratorio de Procesos (LabPro) está conformada por diferentes sistemas auxiliares que trabajan de manera integrada para garantizar la generación segura y eficiente de vapor. Estos sistemas permiten el suministro de energía, combustible y agua, así como el monitoreo y control de las variables operativas necesarias para el funcionamiento del equipo. A continuación, se describen los principales sistemas que conforman la unidad de operación.

### **5.1.Sistema eléctrico**

Está conformado por los totalizadores, el breaker principal y el tablero de control, encargados de suministrar, distribuir y proteger la energía eléctrica requerida para la operación de la caldera y sus dispositivos auxiliares.

### **5.2.Sistema de combustible**

Comprende los equipos, válvulas, líneas de conducción e instrumentos asociados al suministro de combustible. Permite la alimentación controlada de gas natural o ACPM al quemador, garantizando las condiciones necesarias para el proceso de combustión.

### **5.3.Sistema de agua**

Está constituido por el sistema de alimentación de agua, los dispositivos de control de nivel y los elementos asociados al ingreso del agua tratada a la caldera. Su función es asegurar el suministro continuo del fluido requerido para la generación de vapor bajo condiciones seguras de operación.

### **5.4.Sistema de control y seguridad**

Está integrado por controladores, sensores, presostatos, alarmas y dispositivos de protección encargados de supervisar las variables operativas de la caldera. Su función es garantizar que el equipo opere dentro de los límites establecidos y activar acciones de protección o bloqueo ante condiciones anormales que puedan comprometer la seguridad del sistema.

## 6. Condiciones de diseño de la caldera

La caldera instalada en el Laboratorio de Procesos (LabPro) está diseñada para satisfacer los requerimientos de generación de vapor necesarios para el suministro de energía térmica a los equipos de proceso utilizados en las prácticas académicas, garantizando una operación segura y eficiente. Para ello, el equipo cuenta con especificaciones técnicas definidas por el fabricante relacionadas con su modelo, capacidad, presión de trabajo, sistema de combustión y tipo de combustible. En la siguiente tabla se presentan las principales especificaciones técnicas de la caldera.

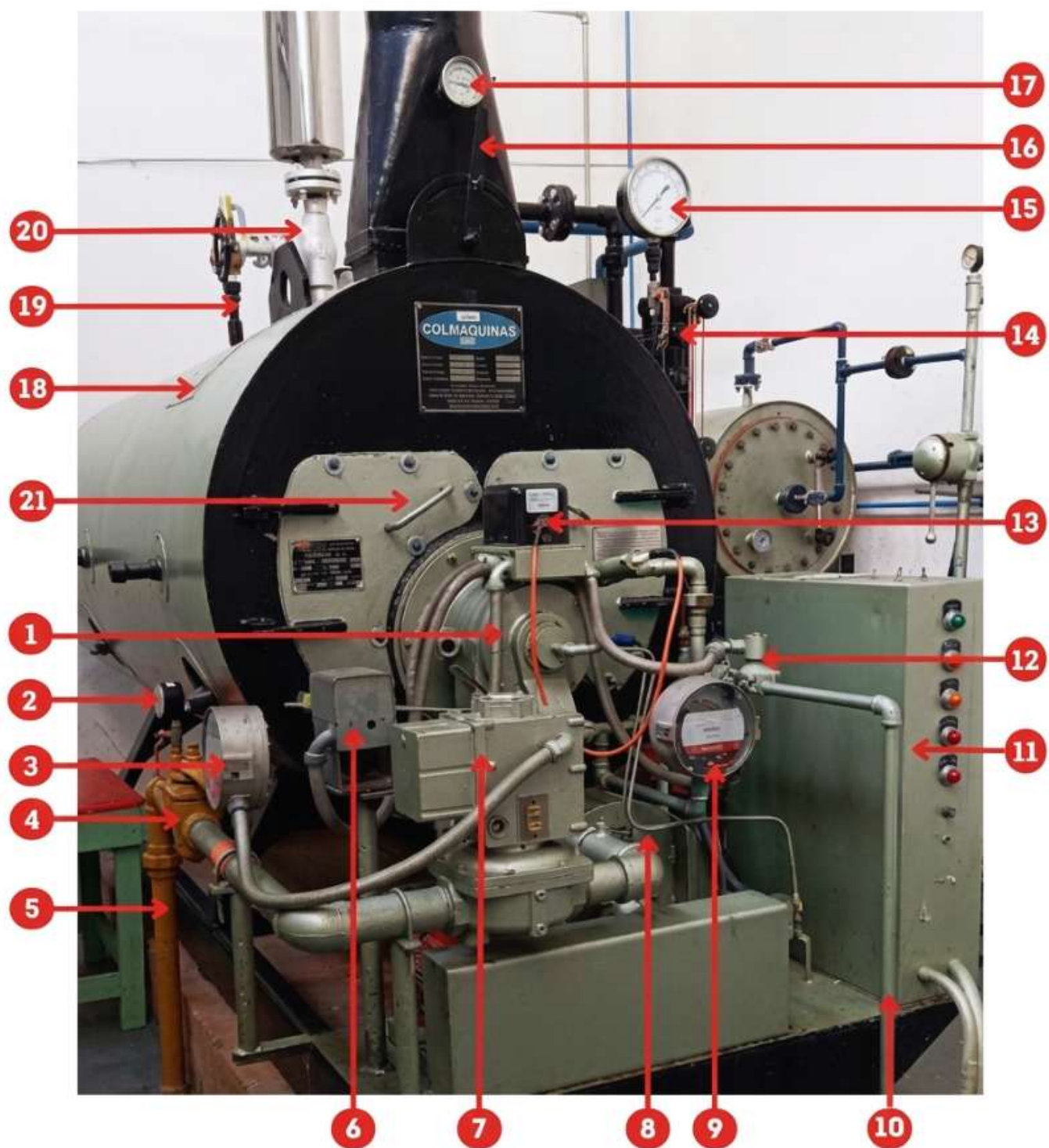
**Tabla 1.** *Condiciones de diseño de la caldera.*

|                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| <b>Fabricante</b>             | Colmaquinas              |
| <b>Serie</b>                  | A-2644                   |
| <b>Modelo</b>                 | CH2-30-150               |
| <b>Tipo</b>                   | Pirotubular - Horizontal |
| <b>Pasos</b>                  | Dos                      |
| <b>Quemador</b>               | SLG – G                  |
| <b>Capacidad</b>              | 30 bhp                   |
| <b>Control de combustible</b> | On - off                 |
| <b>Combustible</b>            | Fuel oil No.2 y gas      |
| <b>Presión de operación</b>   | 125 psi                  |
| <b>Presión de diseño</b>      | 150 psi                  |
| <b>Generación calorífica</b>  | 1004,250 btu/h           |
| <b>Tipo de aislante</b>       | Lana de mineral de 2 in  |

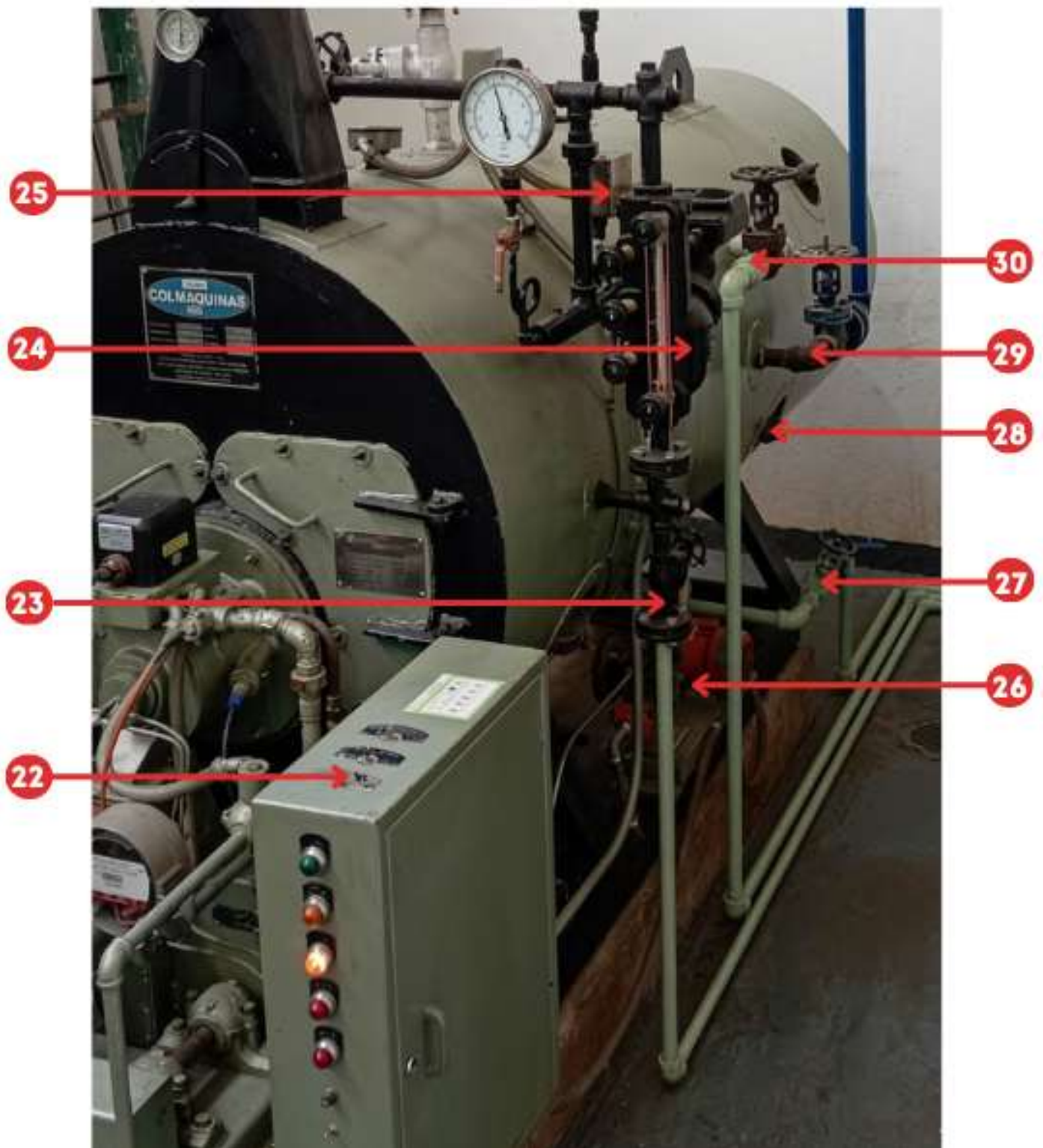
## 7. Componentes de la caldera

A continuación, se muestra la vista general de la caldera ubicada en el LabPro, en la Figura 1 y Figura 2 se identifican los componentes externos del equipo, los cuales permiten su correcto funcionamiento, así como su monitoreo y operación segura. Asimismo, en la Tabla 2 se listan los componentes señalados en cada una de las figuras, junto con la descripción de la función que cumplen dentro del sistema.





**Figura 1.** Componentes frontales de la caldera pirotubular.  
Fuente: Autores



*Figura 2. Componentes laterales de la caldera pirotubular.*  
Fuente: Autores

Cada uno de los elementos señalados anteriormente forma parte de los sistemas de control, alimentación y seguridad de la caldera. Asimismo, permiten supervisar variables operativas fundamentales, como el nivel de agua, la presión y el suministro de combustible. Por lo tanto, su correcta identificación es esencial para comprender el funcionamiento general de la unidad de operación y garantizar la ejecución segura de los procedimientos dentro del LabPro.

**Tabla 2.** *Componentes externos de la caldera y sus funciones.*

| No. | Componente                         | Función                                                                                                                                             |
|-----|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Quemador                           | Encargado de mezclar el combustible con el aire y regular el proceso de combustión.                                                                 |
| 2   | Manómetro de la línea de gas       | Indica la presión de gas disponible antes de la válvula on off.                                                                                     |
| 3   | Presostato línea principal de gas  | Mide la presión del gas y envía una señal al sistema de control para permitir o bloquear el encendido                                               |
| 4   | Válvula on off                     | Permite habilitar o interrumpir el suministro de gas.                                                                                               |
| 5   | Línea principal de gas             | Conduce el gas natural desde la red de suministro hasta el quemador.                                                                                |
| 6   | Servomotor                         | Realiza el barrido del quemador, mediante la apertura de una compuerta, permitiendo el ingreso de aire y la eliminación de residuos de combustible. |
| 7   | Válvula Electrohidráulica          | Regula el paso gradual del gas durante el encendido y lo interrumpe de forma inmediata ante una señal de paro.                                      |
| 8   | Ventilador                         | Suministra el aire requerido para el proceso de combustión.                                                                                         |
| 9   | Presostato línea secundaria de gas | Mide la presión del gas y envía una señal al sistema de control para permitir o bloquear el encendido del quemador.                                 |
| 10  | Línea secundaria de gas            | Suministra gas al piloto de encendido, permitiendo la generación de la llama inicial para la ignición en el quemador.                               |
| 11  | Panel de control                   | Permite realizar las operaciones de arranque, paro y reinicio de la caldera.                                                                        |
| 12  | Válvula solenoide                  | Controla automáticamente la apertura o cierre del paso de gas durante el encendido y apagado.                                                       |
| 13  | Transformador de ignición          | Genera la chispa eléctrica necesaria para encender el gas en el quemador.                                                                           |
| 14  | Indicador visual de nivel          | Tubo de vidrio que permite observar directamente el nivel de agua dentro de la caldera.                                                             |

|    |                                                  |                                                                                                      |
|----|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15 | Manómetro                                        | Indica la presión interna de vapor de la caldera durante la operación.                               |
| 16 | Chimenea                                         | Conduce y evacua los gases de combustión hacia el exterior.                                          |
| 17 | Indicador de temperatura                         | Mide e indica la temperatura de los gases de salida en la chimenea                                   |
| 18 | Carcasa exterior                                 | Estructura que protege y contiene los componentes internos de la caldera.                            |
| 19 | Válvula de seguridad                             | Libera vapor a la atmósfera cuando la presión interna supera el valor máximo de operación permitido. |
| 20 | Línea principal de vapor                         | Transporta el vapor generado en la caldera hacia los equipos del LabPro.                             |
| 21 | Puertas delanteras                               | Permiten el acceso al interior de la caldera para inspección, limpieza y mantenimiento.              |
| 22 | Interruptores de maniobra                        | Permiten ejecutar las acciones de encendido, apagado y control de nivel del sistema.                 |
| 23 | Línea de purga del cuerpo del McDonnell & Miller | Permite eliminar sedimentos, lodos e impurezas acumuladas en el controlador de nivel.                |
| 24 | Controlador de nivel McDonnell & Miller          | Dispositivo de seguridad encargado de monitorear el nivel del agua en la caldera.                    |
| 25 | Controlador de presión                           | Regula la operación del quemador para mantener la presión dentro del rango establecido.              |
| 26 | Sistema de alimentación de ACPM                  | Conjunto de equipos encargado de filtrar, impulsar y suministrar ACPM al quemador.                   |
| 27 | Línea de purga cámara de la caldera              | Permite evacuar agua, lodos y sedimentos acumulados en la parte inferior de la caldera.              |
| 28 | Puerto de inspección                             | Aberturas diseñadas para facilitar la inspección, limpieza y mantenimiento interno del equipo.       |
| 29 | Línea de alimentación de agua                    | Conduce el agua tratada hacia el interior de la caldera para la generación de vapor.                 |
| 30 | Línea de purga del cuerpo de la caldera          | Purga auxiliar utilizada para el control de impurezas y actividades de mantenimiento.                |

Aunque previamente se han identificado los componentes externos de la caldera, su funcionamiento depende en gran medida de los elementos internos, los cuales no son visibles. Estos se encuentran alojados en el interior del cuerpo de la caldera y participan directamente en los procesos de transferencia de calor, generación de vapor y circulación de los gases de combustión. En la Figura 3 se presentan los principales componentes internos de la caldera, mientras que en la

Tabla 3 se describe cada uno de ellos junto con la función que desempeñan dentro del proceso.



**Figura 3.** Componentes internos de la caldera pirotubular.

Fuente: *Steam Boiler | IVAR | Demonstration*, por Mincom Trading LLC, s.f., YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=h3TdBgsWS8k>).

**Tabla 3.** Componentes internos de la caldera y sus funciones.

| No. | Componente                   | Función                                                                                                                               |
|-----|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 31  | Cámara de combustión         | Zona donde se desarrolla la combustión, en la cual se genera la llama y se producen los gases calientes.                              |
| 32  | Tubos de gases de combustión | Conductos sumergidos en agua por los que circulan los gases de combustión, transfiriendo calor al fluido para la generación de vapor. |
| 33  | Caja de gases de combustión  | Recolecta y dirige los gases hacia el segundo paso por los tubos o hacia la chimenea.                                                 |
| 34  | Placas tubulares             | Elementos estructurales circulares que soportan y fijan los extremos de los tubos de gases de combustión dentro de la caldera.        |



## **8. Ventanas Operativas**

La operación segura de la caldera requiere que sus principales variables de proceso se mantengan dentro de rangos previamente establecidos. En la Tabla 4 se presentan las ventanas operativas para cada instrumento, en las cuales se definen los límites dentro de los que cada variable debe mantenerse para garantizar la operación continua y segura sin comprometer la integridad de la unidad.

Para cada instrumento se establecen cuatro niveles de referencia: LBE (límite bajo estándar) y LAE (límite alto estándar), que delimitan la zona normal de operación; y LBC (límite bajo crítico) y LAC (límite alto crítico), que representan condiciones anormales con potencial de afectar el desempeño del sistema o la seguridad operacional.

Cuando un parámetro está fuera de la ventana operativa debe corregirse de manera oportuna. Si alcanza el límite crítico, requiere de una intervención inmediata por parte del operador.

## **9. Diagrama de tuberías e instrumentación**

Con el fin de facilitar la comprensión del sistema y la identificación de los equipos, líneas de proceso, instrumentos y elementos de control asociados a la caldera, en la Figura 4 se presenta el diagrama de instrumentación y tuberías (P&ID) de la unidad. En este se muestran las principales líneas de servicio, válvulas, dispositivos de medición e instrumentos requeridos para la operación, monitoreo y supervisión del equipo.



**Tabla 4.** Ventanas operativas de la operación en la caldera.

| ITEM | TAG   | DESCRIPCIÓN                                                                                           | UD  | LBC | LBE | LAE | LAC | ACCIÓN OPERATIVA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | PI-01 | Indica la presión del agua blanda en la línea de salida del tanque TK-101, previo a la válvula V-103. | psi | 15  | 20  | 25  | 30  | <p><b>Alta presión:</b> Verificar que la válvula V-08 permanezca abierta y que no existan obstrucciones en la línea. Si el aumento de presión persiste, detener el proceso y revisar el estado de la resina del tanque TK-01 por posible taponamiento.</p> <p><b>Baja presión:</b> Confirmar el suministro de agua potable verificando la apertura de la válvula V-01. Asimismo, verificar la correcta posición y funcionamiento de la V-03 y posibles obstrucciones en la línea de alimentación al tanque suavizador</p>                        |
| 2    | TI-02 | Indica la temperatura del agua blanda en el tanque de almacenamiento TK-102                           | °F  | 59  | 74  | 140 | 176 | <p><b>Alta temperatura:</b> Verificar un posible exceso en el retorno de condensados y regular su ingreso mediante la válvula V-50. Si la temperatura continúa aumentando realizar una purga controlada con reposición de agua para disminuirla.</p> <p><b>Baja temperatura:</b> Verificar que la válvula V-50 se encuentre abierta. Si no se presenta incremento de temperatura, reducir parcialmente la alimentación de agua mediante la válvula V-08 para favorecer el ingreso de condensados hasta alcanzar la temperatura de operación.</p> |
| 3    | LG-03 | Instrumento que permite la verificación visual del nivel de agua en el tanque TK-102                  | %   | 15  | 40  | 60  | 85  | <p><b>Alto nivel:</b> Verificar la posición de la válvula V-08 y cerrarla parcialmente para controlar el nivel. Si el nivel continúa aumentando, cerrarla completamente y realizar una purga controlada hasta alcanzar las condiciones estándar de operación.</p> <p><b>Bajo nivel:</b> Verificar la apertura de válvula V-08. Si el nivel no se recupera, abrir la válvula V-07 de la línea de alimentación auxiliar. En caso de persistir, revisar posibles fugas o fallas en el sistema control de nivel.</p>                                 |
| 4    | TI-04 | Indica la temperatura de los gases de chimenea                                                        | °C  | 150 | 180 | 240 | 260 | <p><b>Alta temperatura:</b> Evaluar el estado de la transferencia de calor en la caldera, verificando la posible presencia de incrustaciones o ensuciamiento. Si la condición persiste, programar un mantenimiento del equipo.</p> <p><b>Baja temperatura:</b> Verificar posibles pérdidas de eficiencia en la combustión o exceso de aire en el sistema.</p>                                                                                                                                                                                    |
| 5    | PI-05 | Indica la presión interna de la caldera, permitiendo el                                               | psi | 60  | 80  | 100 | 125 | <p><b>Alta presión:</b> Verificar el valor del set point y el diferencial del controlador de presión PC-05, así como la apertura de la válvula V-17 de suministro de vapor. Si la presión continúa aumentando, apagar el quemador y revisar el sistema de control.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                           |



|    |       |                                                                                |     |    |    |    |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|-------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|----|----|----|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |       | monitoreo de la misma durante la operación                                     |     |    |    |    |    | <b>Baja presión:</b> Verificar que el quemador se encuentre en operación, que no haya alarmas activas en el panel de control y que la llama este presente. Si la condición persiste, disminuir el consumo de vapor cerrando parcialmente la válvula V-17 hasta recuperar el rango de operación.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 6  | LG-06 | Instrumento que permite la verificación visual del nivel de agua en la caldera | %   | 20 | 40 | 60 | 80 | <b>Alto nivel:</b> Verificar la válvula V-11 del sistema de alimentación y cerrarla para impedir el ingreso de agua a la caldera. Si el nivel continúa aumentando, apagar el quemador para evitar el arrastre de agua hacia la línea de vapor.<br><b>Bajo nivel:</b> Verificar el ingreso de agua a la caldera mediante el comportamiento del nivel y la apertura de la válvula V-11 de alimentación a la unidad y pasar el sistema de control de nivel a manual para permitir un ingreso controlado. Si el nivel continúa descendiendo, apagar el quemador y suspender la operación para inspeccionar el equipo. |
| 8  | PI-09 | Mide e indica la presión en la línea de gas natural                            | psi | 2  | 5  | 7  | 10 | <b>Alta presión:</b> Verificar el estado de las válvulas V-33, V-34 y V-19. Si la presión se mantiene elevada, restringir la operación y reportar la condición.<br><b>Baja presión:</b> Confirmar la continuidad del suministro de gas desde la red principal y la apertura de las válvulas V-33, V-34 y V-19. Si la presión no se recupera, reportar la condición para evitar afectaciones en la red de distribución y hacer su respectiva revisión.                                                                                                                                                             |
| 9  | PI-11 | Mide e indica la presión en la línea de gas natural                            | psi | 2  | 5  | 8  | 10 | <b>Alta presión:</b> Verificar el estado de la válvula V-19, si la presión se mantiene elevada, restringir la operación y reportar la situación.<br><b>Baja presión:</b> Verificar la continuidad del suministro de gas desde la red principal y la apertura de la válvula V-19. Si la presión no se recupera, reportar la condición para su revisión y evitar afectaciones en la red de distribución.                                                                                                                                                                                                            |
| 10 | PI-12 | Mide e indica la presión en la línea de gas natural                            | psi | 2  | 5  | 8  | 10 | <b>Alta presión:</b> Verificar el estado de la válvula V-32. Si la presión se mantiene elevada, restringir la operación y reportar la situación.<br><b>Baja presión:</b> Verificar la continuidad del suministro de gas desde la red principal y la apertura de la válvula V-32. Si la presión no se recupera, reportar la condición para su revisión y evitar afectaciones en la red de distribución.                                                                                                                                                                                                            |

|    |       |                                                                            |                    |     |     |     |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|-------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 11 | PI-14 | Mide e indica la presión en la línea principal de gas                      | inH <sub>2</sub> O | 28  | 55  | 111 | 139 | <p><b>Alta presión:</b> Verificar el correcto funcionamiento del regulador PRV-13. Si la presión persiste elevada, reducir el flujo de gas mediante el cierre parcial de la válvula V-20 y llevar el quemador a una condición segura.</p> <p><b>Baja presión:</b> Verificar la presión de suministro de gas en el manómetro PI-12 y la apertura de las válvulas V-20 y V-21. Suspender el encendido si no se alcanza la presión mínima requerida, hasta garantizar la presión suficiente para la estabilidad de la llama.</p>                                                                                                                                                                                                 |
| 12 | PI-16 | Mide e indica la presión en la línea de gas responsable de la llama piloto | inH <sub>2</sub> O | 28  | 55  | 111 | 139 | <p><b>Alta presión:</b> Verificar el funcionamiento del presostato PSH-17 mediante la respuesta del sistema ante el incremento de la presión. Si el quemador no se apaga al superar el límite establecido, reducir el flujo de gas mediante el cierre parcial de las válvulas V-24 y V-20 para llevar el sistema a una condición segura</p> <p><b>Baja presión:</b> Verificar la continuidad del suministro de gas mediante la lectura del manómetro PI-12, así como la apertura de las válvulas V-24 y V-26 en la línea de la llama piloto. Si la presión no alcanza el valor mínimo requerido, suspender el encendido hasta garantizar la presión suficiente para la estabilidad de la llama.</p>                           |
| 13 | PI-19 | Indica la presión en la línea de suministro de ACPM                        | psi                | N/A | N/A | N/A | N/A | Sistema de ACPM fuera de servicio; se debe verificar que se encuentre aislado de la línea mediante el cierre de la válvula V-27 y sin presión residual.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 14 | TI-03 | Indica la temperatura del vapor almacenado en el tanque TK-103             | °C                 | 120 | 150 | 165 | 180 | <p><b>Alta temperatura:</b> Verificar la apertura de las válvulas de salida de vapor V-45 y/o V-46 de acuerdo con la demanda del LabPro. Si la temperatura se mantiene elevada, confirmar la existencia de posibles restricciones en la distribución mediante el comportamiento del sistema y verificar el correcto funcionamiento del indicador de temperatura.</p> <p><b>Baja temperatura:</b> Verificar la presión de operación de la caldera en el manómetro PI-05, así como la apertura de las válvulas V-17 y V-43, que permiten el suministro de vapor hacia el tanque. Si la temperatura no se recupera, inspeccionar el estado del aislamiento térmico, posibles fugas y acumulación de condensados en la línea.</p> |

|    |       |                                                                                             |     |    |    |     |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|----|-----|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15 | PI-03 | Mide e indica la presión del vapor almacenado en el tanque TK-103                           | psi | 60 | 80 | 100 | 110 | <p><b>Alta presión:</b> Verificar la correcta salida de vapor por las dos líneas de distribución, así como la apertura de las válvulas V-45 y V-46. Si la presión continúa aumentando, confirmar la posible sobrecarga del sistema o la existencia de bloqueos en las salidas del tanque, y llevar el sistema a una condición segura de operación.</p> <p><b>Baja presión:</b> Verificar que las válvulas V-17 y V-43, encargadas del ingreso de vapor al tanque, se encuentren abiertas. Asimismo, comprobar que la válvula V-50 de retorno de condensados se encuentre abierta, permitiendo el flujo hacia el tanque de almacenamiento TK-102. Si la presión continúa descendiendo, revisar la presencia de fugas en el sistema o una posible baja generación de vapor en la caldera.</p> |
| 16 | PI-04 | Mide e indica la presión de la línea de distribución de vapor hacia equipos de baja demanda | psi | 20 | 30 | 40  | 50  | <p><b>Alta presión:</b> Verificar que la válvula V- 46 y V-45 se encuentren abiertas, así como el correcto funcionamiento de los equipos consumidores. Asimismo, revisar posibles cierres parciales en las líneas de consumo. Si la presión continúa aumentando, confirmar una posible sobrealimentación o restricciones en el consumo del sistema.</p> <p><b>Baja presión:</b> Verificar que la válvula V-17, correspondiente al ingreso de vapor al tanque, y la válvula V-46, encargada de la distribución de vapor, se encuentren abiertas. Inspeccionar la posible presencia de fugas en la línea y un incremento de demanda en los equipos conectados. Si la presión continúa disminuyendo, reportar una posible falla en el suministro general de vapor.</p>                         |

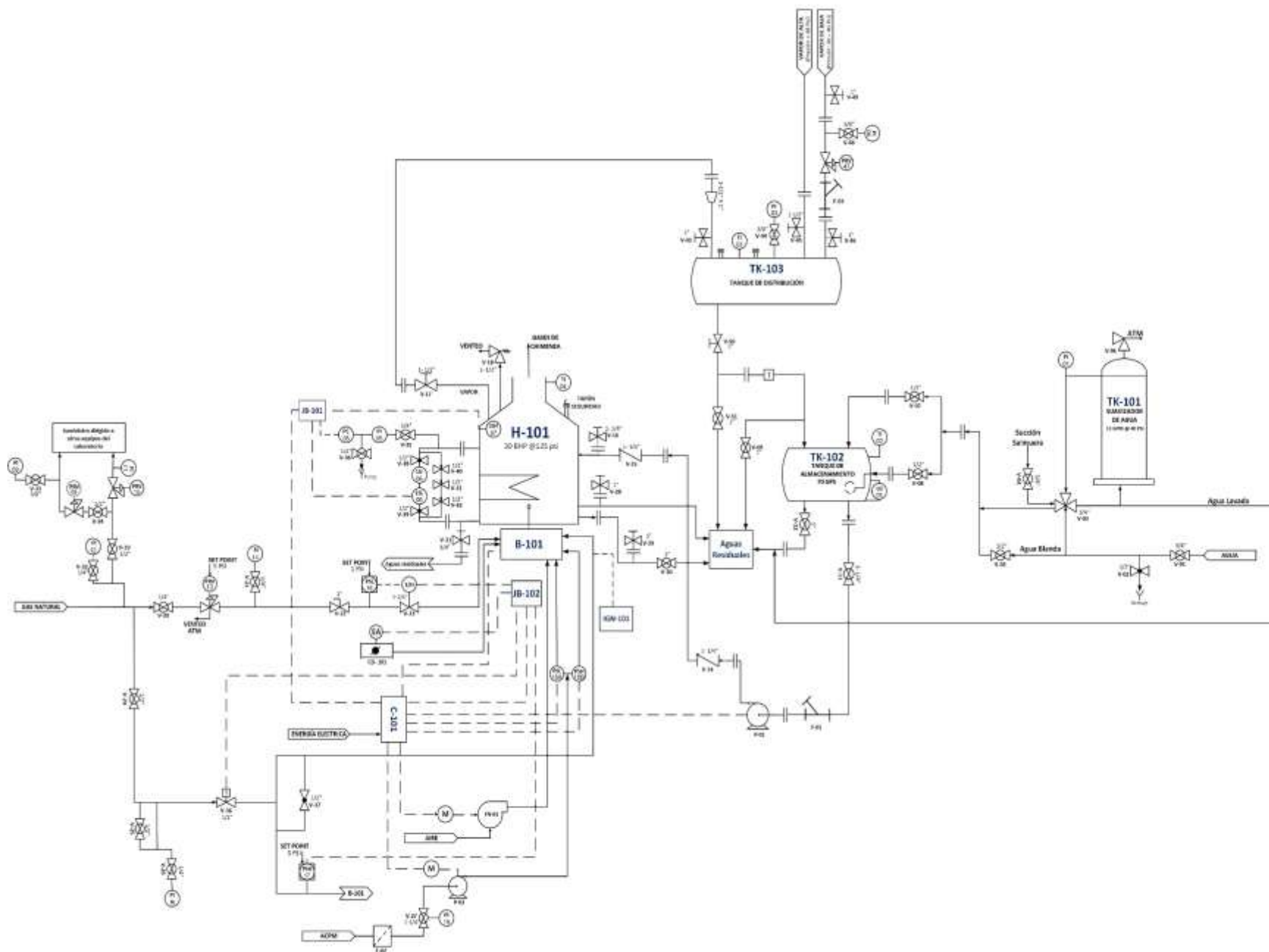


Figura 4. Diagrama de tuberías e instrumentación.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                 |                 |                   |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------|-------|
| LOCALIZACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                 |                 |                   |       |       |
| NOTAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                 |                 |                   |       |       |
| CONVENCIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                 |                 |                   |       |       |
| <div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> </div> <div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> </div> |                 |                 |                   |       |       |
| <div> <div> </div> <div> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                 |                 |                   |       |       |
| P&ID – DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN<br>CALDERA DEL LABORATORIO DE PROCESOS DE LA<br>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA                                                                                                                                                                                                                       |                 |                 |                   |       |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | NOMBRE          | INSTRUMENTACIÓN | FECHA             | FECHA | FECHA |
| DESARROLLO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | MAT. DESARROLLO |                 | FECHA: DESARROLLO |       |       |
| REVISIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | MAT. REVISIÓN   |                 | FECHA: REVISIÓN   |       |       |
| APROBACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | MAT. APROBACIÓN |                 | FECHA: APROBACIÓN |       |       |
| NO. PÁGINA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                 | NO. PÁGINA      |                   |       | REV.  |

## 10. Procedimientos operativos de la Caldera

En esta sección se presentan los procedimientos operativos necesarios para el manejo seguro y eficiente de la caldera del LabPro. Su correcta aplicación permite estandarizar las actividades del operador y mantener las condiciones adecuadas de funcionamiento. Asimismo, facilita la respuesta oportuna ante desviaciones operativas y contribuye a la conservación del equipo durante su vida útil.

### 10.1. Encendido de la caldera

Para la puesta en marcha de la unidad de operación, es necesario seguir una secuencia ordenada de operaciones que permita realizar el encendido de manera segura y controlada. La caldera del LabPro puede operar con dos tipos de combustible, gas natural y ACPM. El procedimiento de encendido para cada uno de estos combustibles se describe a continuación.

#### 10.1.1. Encendido de la caldera utilizando gas natural como combustible

El gas natural es el combustible utilizado actualmente para la puesta en marcha de la caldera. Por lo tanto, en la Tabla 5 se presenta el procedimiento detallado que debe seguirse para llevar a cabo este proceso de manera segura y controlada.

**Tabla 5.** *Procedimiento de encendido con gas natural como combustible.*

| Lista de Chequeo | Actividad                                     |                                                                                                                                                         |
|------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si = ✓           | <b>1. Verificación de suministros básicos</b> |                                                                                                                                                         |
|                  | 1.1.1                                         | Localizar la válvula V-02 y abrirla lentamente para verificar la disponibilidad de agua en el LabPro.                                                   |
|                  | 1.1.2                                         | Una vez confirmado el flujo, cerrar la válvula V-02.                                                                                                    |
|                  | 1.1.2                                         | Verificar presencia de energía eléctrica en el LabPro mediante la confirmación del funcionamiento de los sistemas de iluminación.                       |
|                  | 1.1.3                                         | Confirmar la disponibilidad de gas natural observando la lectura de presión en el manómetro PI-12; una presión mayor a cero indica suministro.          |
| Si = ✓           | <b>2. Inspección inicial del equipo</b>       |                                                                                                                                                         |
|                  | 2.1.1                                         | Verificar que las válvulas V-11, V-12, V-29 y V-30 se encuentren cerradas. La manija debe estar perpendicular a la tubería, indicando posición cerrada. |
|                  | 2.1.2                                         | Confirmar que la válvula V-25 se encuentre abierta, con la manija paralela a la tubería.                                                                |

|        |                                                                   |                                                                                                                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | 2.1.2                                                             | Verificar que el tablero de control se encuentre apagado. No deben observarse alarmas encendidas, lo cual indica ausencia de energía.                                               |
|        | 2.1.3                                                             | Verificar que los interruptores de maniobra en la parte superior del tablero de control se encuentren en la posición de apagado.                                                    |
|        | 2.1.4                                                             | Verificar que el breaker principal en la parte frontal del tablero de control se encuentre en la posición de apagado.                                                               |
| Si = ✓ | <b>3. Purga en frío</b>                                           |                                                                                                                                                                                     |
|        | 3.1.1                                                             | Abrir de manera controlada la válvula V-40 de aireación/desaireación.                                                                                                               |
|        | 3.1.2                                                             | Abrir totalmente la válvula V-31 ubicada en la parte inferior del controlador de nivel de la caldera durante 10 segundos.                                                           |
|        | 3.1.3                                                             | Cerrar la válvula V-31 una vez finalizada la purga.                                                                                                                                 |
|        | 3.1.4                                                             | Realizar la purga del controlador de presión abriendo totalmente la válvula V-36 durante 10 segundos.                                                                               |
|        | 3.1.5                                                             | Cerrar la válvula V-36 una vez finalizada la purga.                                                                                                                                 |
|        | 3.1.6                                                             | A continuación, realizar la purga de la cámara del agua de la caldera mediante la apertura total de la válvula V-30, ubicada en la parte inferior trasera de la caldera.            |
|        | 3.1.7                                                             | Abrir la válvula de compuerta V-29, ubicada antes de la válvula V-30.                                                                                                               |
|        | 3.1.8                                                             | Mantener las válvulas abiertas durante 10 segundos para evacuar el precipitado acumulado en la cámara de la caldera.                                                                |
|        | 3.1.9                                                             | Una vez transcurrido el tiempo de apertura, cerrar la válvula V-29 y, seguidamente, la válvula V-30.                                                                                |
|        | 3.2                                                               | Realizar la purga del tanque de almacenamiento de agua TK-102 mediante la apertura completa de la válvula V-12 durante 10 segundos, con el fin de evacuar los lodos acumulados.     |
|        | 3.2.1                                                             | Una vez finalizado el tiempo de purga, cerrar completamente la válvula V-12.                                                                                                        |
|        | 3.2.2                                                             | Abrir la válvula V-11, ubicada en la parte inferior del tanque TK-102, lo que garantiza el suministro de agua a la caldera. Mantenerla abierta durante todo el tiempo de operación. |
| Si = ✓ | <b>4. Alimentación de agua y activación del sistema eléctrico</b> |                                                                                                                                                                                     |
|        | 4.1.1                                                             | Accionar el interruptor principal de energía, breaker, ubicado en la pared lateral, al lado del tanque TK-101, hacia la posición de arriba correspondiente al encendido.            |
|        | 4.1.2                                                             | Accionar el interruptor en la parte frontal del tablero de control, a la posición de encendido.                                                                                     |
|        | 4.1.3                                                             | Accionar el interruptor de maniobra de control de agua a la posición automático. Si el nivel es inferior al requerido, la bomba se activará hasta alcanzar aproximadamente 150 gal. |
|        | 4.1.4                                                             | Cerrar la válvula de desaireación V- 40 una vez se alcance el nivel de agua operativo.                                                                                              |
|        | 4.1.5                                                             | Accionar el interruptor de maniobra de selector de combustible a la posición de gas.                                                                                                |

|        |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | 4.1.6                                            | Accionar el interruptor de maniobra de control del quemador hacia la posición automático.                                                                                                                                         |
| Si = ✓ | <b>5. Habilitación de la línea de gas</b>        |                                                                                                                                                                                                                                   |
|        | 5.1.1                                            | Abrir la válvula V- 24 correspondiente al acceso de gas de la llama piloto.                                                                                                                                                       |
|        | 5.1.2                                            | Abrir la válvula V-20 de ingreso gas principal ubicada antes del regulador de presión PRV-13.                                                                                                                                     |
|        | 5.1.3                                            | Abrir la válvula V-22 de gas principal girándola 90 grados en sentido antihorario.                                                                                                                                                |
| Si = ✓ | <b>6. Puesta en marcha del circuito de vapor</b> |                                                                                                                                                                                                                                   |
|        | 6.1.1                                            | Abrir la puerta lateral del tablero de control donde se encuentran las conexiones eléctricas.                                                                                                                                     |
|        | 6.1.2                                            | Accionar el botón rojo del controlador ubicado en la parte superior, identificado en la imagen adjunta.<br>                                    |
|        | 6.1.3                                            | Presionar el botón negro ubicado en la parte inferior del Warrick para realizar el reinicio del sistema, mostrado en la siguiente imagen.<br> |
|        | 6.1.4                                            | Verificar que la válvula V-17 se encuentre cerrada para evitar el arrastre de condensados hacia la línea de vapor durante el arranque.                                                                                            |
|        | 6.1.5                                            | Monitorear la presión de la caldera en el manómetro PI-05 hasta alcanzar el rango de operación entre 80 y 100 psi.                                                                                                                |
|        | 6.1.6                                            | Una vez alcanzada la presión de 100 psi, abrir la válvula V-17 para permitir el paso de vapor hacia el tanque TK-103                                                                                                              |
|        | 6.1.7                                            | Verificar que las válvulas V-50 y V-49 correspondientes al retorno de condensados se encuentren abiertas.                                                                                                                         |
|        | 6.1.8                                            | Abrir la válvula V-43 para permitir el ingreso de vapor al tanque TK-103.                                                                                                                                                         |
|        | 6.1.9                                            | Abrir la válvula V-46 para suministro de vapor a baja presión para equipos de baja presión (mini evaporador y evaporador de doble efecto) y/o la válvula V-45 para alta presión para equipos de alta                              |

|  |     |                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |     | presión (reactor batch y prensa vulcanizadora), según la demanda de los equipos del LabPro.                                                                                                                                                                   |
|  | 6.2 | Cada 8 días, realizar la purga del tanque TK-103 en horas de la mañana, mediante la apertura controlada de la válvula V-51 y verificando la descarga de los sedimentos acumulados. Una vez finalizado el procedimiento, cerrar correctamente la válvula V-51. |

### 10.1.2. Encendido de la caldera utilizando ACPM como combustible

Aunque la caldera del LabPro cuenta con la capacidad de operar utilizando ACPM como combustible, esta línea no se emplea de manera habitual en el laboratorio. Su utilización requiere la intervención previa del personal encargado, debido a la necesidad de realizar ajustes en el sistema de combustión, tales como el cambio de la boquilla del quemador y la instalación del piloto correspondiente. Por esta razón, cualquier intento de operación con ACPM debe ser previamente autorizado y supervisado, garantizando así condiciones seguras para el funcionamiento del equipo.

### 10.2. Operación segura

Durante la operación de la caldera, es necesario realizar una supervisión continua de las principales variables de funcionamiento de la unidad, con el fin de garantizar condiciones seguras y estables de operación. El seguimiento de estos parámetros permite detectar de manera oportuna desviaciones y prevenir fallas en el sistema. Para ello, el operador debe verificar periódicamente los parámetros e indicadores relacionados en la siguiente tabla.

**Tabla 6.** *Procedimiento de la caldera en operación segura.*

| Lista de Chequeo | Actividad                              |                                                                                                                                                             |
|------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si = ✓           | <b>1. Presión de la caldera</b>        |                                                                                                                                                             |
|                  | 1.1.1                                  | Localizar el manómetro PI-05, ubicado en el cuerpo de la caldera.                                                                                           |
|                  | 1.1.2                                  | Leer el valor de la presión y comparar esta lectura con el rango de presión de operación establecido entre 80-100 psi para el trabajo seguro de la caldera. |
|                  | 1.1.3                                  | En caso de que la presión se encuentre fuera del rango operativo, notificar al operador responsable.                                                        |
|                  | 1.1.4                                  | Si la desviación de la presión persiste, ejecutar el procedimiento de emergencia correspondiente.                                                           |
| Si = ✓           | <b>2. Presión en la línea de vapor</b> |                                                                                                                                                             |



|        |                                                              |                                                                                                                                                                                                                 |
|--------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | 2.1.1                                                        | Verificar la presencia de vapor en el tanque distribuidor mediante la lectura del manómetro PI-03. Si la presión es mayor a cero, se confirma suministro de vapor.                                              |
|        | 2.1.2                                                        | Verificar la presión registrada en el manómetro PI-04 y confirmar que se encuentre dentro del rango de operación del sistema, entre 30 y 40 psi para vapor de baja presión, y superior a 40 para vapor de alta. |
| Si = ✓ | <b>3. Nivel del agua</b>                                     |                                                                                                                                                                                                                 |
|        | 3.1.1                                                        | Observar el indicador de nivel LG-06 de la caldera y confirmar que el nivel de agua sea claramente visible en el visor.                                                                                         |
|        | 3.1.2                                                        | Verificar que el nivel de agua se encuentre dentro del rango de operación de la caldera, observando el indicador de nivel LG-06. El nivel debe ubicarse aproximadamente en la mitad del visor.                  |
|        | 3.1.3                                                        | Confirmar que el sistema de control de nivel responda adecuadamente ante una disminución del nivel, verificando la activación de la bomba P-01 que garantiza el suministro de agua.                             |
|        | 3.1.4                                                        | En caso de que el nivel aumente sobre el establecido, informar al operador responsable.                                                                                                                         |
| Si = ✓ | <b>4. Temperatura del agua de alimentación</b>               |                                                                                                                                                                                                                 |
|        | 4.1.1                                                        | Visualizar el indicador de temperatura TI-02, ubicado en el tanque de almacenamiento de agua y confirmar que la temperatura sea la adecuada para la operación del sistema.                                      |
|        | 4.1.2                                                        | Verificar periódicamente que la temperatura no presente variaciones bruscas, ya sean incrementos o descensos repentinos.                                                                                        |
|        | 4.1.3                                                        | Registrar cualquier variación significativa en las condiciones del agua de alimentación.                                                                                                                        |
| Si = ✓ | <b>5. Temperatura de salida de los gases de la caldera</b>   |                                                                                                                                                                                                                 |
|        | 5.1.1                                                        | Visualizar el indicador de temperatura TI-04, ubicado en la parte frontal de la chimenea, y registrar la temperatura durante la operación                                                                       |
|        | 5.1.2                                                        | Comparar los valores registrados con el rango de operación seguro establecido en las ventanas operativas.                                                                                                       |
| Si = ✓ | <b>6. Controles de presión y temperatura del combustible</b> |                                                                                                                                                                                                                 |
|        | 6.1.1                                                        | Identificar los manómetros PI-14 y PI-16, ubicados las líneas de gas.                                                                                                                                           |
|        | 6.1.2                                                        | Comprobar que la presión indicada por los presostatos se mantenga en 5 psi, valor requerido para una combustión adecuada.                                                                                       |
| Si = ✓ | <b>7. Verificación del panel de control del quemador</b>     |                                                                                                                                                                                                                 |
|        | 7.1.1                                                        | Revisar el panel de control y verificar que no existan alarmas activas.                                                                                                                                         |
|        | 7.1.2                                                        | Comprobar que el indicador de operación del quemador se encuentre activo.                                                                                                                                       |

|        |                                                        |                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si = ✓ | <b>8. Forma y tamaño de la llama</b>                   |                                                                                                                                                                                                                                              |
|        | 8.1.1                                                  | Observar la llama a través del visor de la caldera y verificar que la llama sea estable y uniforme.                                                                                                                                          |
|        | 8.1.2                                                  | Revisar periódicamente para confirmar la presencia de la llama durante la operación.                                                                                                                                                         |
| Si = ✓ | <b>9. Salida de gases de combustión de la chimenea</b> |                                                                                                                                                                                                                                              |
|        | 9.1.1                                                  | Observar la salida de gases en la chimenea de la caldera y verificar que no se presenten emisiones densas ni de color oscuro.                                                                                                                |
|        | 9.1.2                                                  | Mediante inspección visual, confirmar que la emisión de gases sea limpia y constante.                                                                                                                                                        |
|        | 9.1.3                                                  | Informar al técnico responsable ante cualquier indicio de mala combustión, como la presencia de humo oscuro, llama inestable, olores a combustible o variaciones anormales en la operación.                                                  |
| Si = ✓ | <b>10. Operación de todos los auxiliares mecánicos</b> |                                                                                                                                                                                                                                              |
|        | 10.1.1                                                 | Disminuir el nivel de agua por debajo del nivel de operación mediante la apertura de la válvula V-30 y, posteriormente, la válvula V-29, con el fin de verificar que la bomba P-01 se active automáticamente y restablezca el nivel de agua. |
|        | 10.1.2                                                 | Al encender la caldera, observar que el servomotor CD-101 y el ventilador V-01 realicen de manera continua el barrido de aire del quemador.                                                                                                  |
|        | 10.1.4                                                 | Realizar una inspección visual y auditiva para verificar la ausencia de ruidos y vibraciones anormales en el sistema.                                                                                                                        |

### 10.3.Procedimiento de apagado

A continuación, se describen las acciones que deben ejecutarse para realizar el apagado seguro de la caldera, siguiendo una secuencia establecida para evitar riesgos y proteger la unidad de operación.

**Tabla 7. Procedimiento de apagado.**

| <b>Lista de Chequeo</b> | <b>Actividad</b>                  |                                                                                                    |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si = ✓                  | <b>1. Desactivación eléctrica</b> |                                                                                                    |
|                         | 1.1.1                             | Accionar el interruptor de maniobra del control del quemador en la posición de apagado (Off).      |
|                         | 1.1.2                             | Ubicar el interruptor correspondiente al selector de combustible en la posición apagado (Off).     |
|                         | 1.1.3                             | Se acciona el interruptor de maniobra de control de nivel, llevándolo a la posición apagado (Off). |
|                         | 1.1.4                             | Accionar el interruptor del tablero de control, ubicándolo en la posición de apagado (Off).        |

|        |                                                    |                                                                                                                                                       |
|--------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | 1.1.5                                              | Por último, se procede a manipular el breaker principal, llevándolo a la posición de apagado.                                                         |
| Si = ✓ | <b>2. Aislamiento del suministro de gas y agua</b> |                                                                                                                                                       |
|        | 2.1.1                                              | Cerrar la válvula V-22 de gas principal, girándola 90° en sentido horario.                                                                            |
|        | 2.1.2                                              | Cerrar la válvula V-20 de ingreso de gas principal, ubicada antes del regulador de presión PRV-13.                                                    |
|        | 2.1.3                                              | Cerrar la válvula V- 24, encargada de permitir el suministro de gas a la llama piloto.                                                                |
|        | 2.1.4                                              | Cerrar la válvula V-11, ubicada en la parte inferior del tanque TK-102, con el fin de aislar el suministro de agua a la caldera.                      |
| Si = ✓ | <b>3. Aislamiento del agua de alimentación</b>     |                                                                                                                                                       |
|        | 3.1.1                                              | Cerrar la válvula V-17, ubicada en la parte superior de la caldera, correspondiente a la línea de vapor que va al distribuidor                        |
|        | 3.1.2                                              | Cerrar la(s) válvula(s) V-45 y/o V-46 que se encuentran en operación, asegurando el aislamiento del suministro de vapor hacia los equipos del LabPro. |
|        | 3.1.3                                              | Cerrar completamente la válvula V- 43 de ingreso de vapor al tanque TK-103.                                                                           |

#### 10.4. Vaciado de la caldera

El vaciado de la caldera es un procedimiento esencial para la eliminación de lodos y sedimentos que se acumulan en las zonas inferiores del equipo. En la siguiente tabla se describe el paso a paso del proceso.

**Tabla 8.** *Procedimiento de vaciado.*

| <b>Lista de Chequeo</b> | <b>Actividad</b>                 |                                                                                                                        |
|-------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si = ✓                  | <b>1. Preparación del equipo</b> |                                                                                                                        |
|                         | 1.1.1                            | Mantener el nivel con agua caliente para evitar la pérdida del nivel visible en el indicador LG-06.                    |
|                         | 1.1.2                            | No alimentar agua fría para evitar un choque térmico y daños en las uniones.                                           |
| Si = ✓                  | <b>2. Vaciado de la caldera</b>  |                                                                                                                        |
|                         | 2.1.1                            | Leer la presión interna de la caldera en el manómetro PI-05 y verificar que sea cero antes de proceder con el vaciado. |
|                         | 2.1.2                            | Permitir el enfriamiento natural de la caldera durante un tiempo prudente, evitando la generación de vapor.            |
|                         | 2.1.3                            | Abrir completamente la válvula V-30, ubicada en la parte inferior de la caldera, y seguidamente abrir la válvula V-29. |
|                         | 2.1.4                            | Esperar el vaciado completo del equipo y, una vez finalizado, cerrar las válvulas V-29 y V-30 en el orden establecido. |

|        |                                            |                                                                                                                                   |
|--------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si = ✓ | <b>3. Eliminación de lodos y depósitos</b> |                                                                                                                                   |
|        | 3.1.1                                      | En caso de sospecha de presencia de depósitos significativos, llenar y vaciar la caldera de manera repetida hasta su eliminación. |
|        | 3.1.2                                      | Retirar las puertas de inspección y remover los residuos acumulados mediante el uso de una manguera y agua a presión.             |
|        | 3.1.3                                      | Continuar la limpieza hasta que la caldera quede completamente libre de depósitos.                                                |

### 10.5. Operación de los equipos de purga

El agua de alimentación de la caldera contiene impurezas que, durante el proceso de evaporación, se concentran y forman depósitos que afectan la eficiencia y la seguridad del equipo. Para su control, se emplea el sistema de purgas que permite la eliminación de lodos y sedimentos acumulados. El proceso de purgado debe realizarse según lo indicado en la siguiente tabla.

**Tabla 9.** *Procedimiento de purgado de la caldera.*

| <b>Lista de Chequeo</b> | <b>Actividad</b>                       |                                                                                                                                                            |
|-------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si = ✓                  | <b>1. Preparación del equipo</b>       |                                                                                                                                                            |
|                         | 1.1.1                                  | Apagar el fuego accionando el interruptor de maniobra del quemador, ubicándolo en la posición apagado (Off).                                               |
|                         | 1.1.2                                  | Accionar el interruptor de maniobra del control de nivel de agua, colocándolo en la posición manual.                                                       |
|                         | 1.1.3                                  | Aumentar el nivel de agua dentro de la caldera hasta alcanzar aproximadamente la mitad del nivel visible en el indicador LG-06.                            |
| Si = ✓                  | <b>2. Purgado de la caldera</b>        |                                                                                                                                                            |
|                         | 2.1.1                                  | Identificar y localizar las válvulas V-30 y V-29 correspondientes a la purga de fondo de la caldera.                                                       |
|                         | 2.1.2                                  | Abrir completamente la válvula V-30, posteriormente, abrir la válvula V-29 de manera gradual, con el fin de evitar variaciones bruscas de presión.         |
|                         | 2.1.3                                  | Permitir la descarga hasta alcanzar el nivel normal de operación del agua, correspondiente a 150 gal, equivalente a la mitad de la caldera.                |
|                         | 2.1.4                                  | Supervisar de manera continua el nivel de agua en el indicador LG-06 y verificar que se mantenga al menos a 2 pulgadas dentro del rango visible del visor. |
|                         | 2.1.5                                  | Evitar que el nivel de agua descienda por debajo del rango visible en el indicador LG-06 durante la purga.                                                 |
|                         | 2.1.6                                  | Finalizada la purga, cerrar de manera gradual la válvula V-29 y, posteriormente, la válvula V-30.                                                          |
| Si = ✓                  | <b>3. Purga de la columna de nivel</b> |                                                                                                                                                            |

|  |       |                                                                                                                        |
|--|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 3.1.1 | Realizar la purga del McDonnell & Miller varias veces al día o, como mínimo, una vez por turno.                        |
|  | 3.1.2 | Abrir la válvula V-31 correspondiente a la purga de la columna, ubicada en la parte inferior del cuerpo del McDonnell. |
|  | 3.1.3 | Permitir la descarga de aproximadamente 4 pulgadas de agua.                                                            |
|  | 3.1.4 | Verificar que las líneas de la columna queden libres de lodos y sedimentos.                                            |
|  | 3.1.5 | Durante este proceso, no permitir que el nivel de agua desaparezca del visor LG-06.                                    |

## 10.6. Procedimiento de parada de emergencia

Durante la operación de la caldera pueden presentarse condiciones anormales que requieren una detención inmediata. Ante cualquier situación de emergencia, se debe ejecutar en primera instancia la acción general, la cual consiste en retirar la caldera de línea de manera segura. Posteriormente, se deben aplicar las medidas específicas correspondientes al evento identificado, con el fin de controlar la situación y prevenir daños en el equipo o riesgos para el personal.

**Tabla 10.** *Procedimiento de parada de emergencia.*

| Lista de Chequeo | Actividad                                               |                                                                                                                                                                       |
|------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si = ✓           | <b>1. Retiro de la caldera de la línea de operación</b> |                                                                                                                                                                       |
|                  | 1.1.1                                                   | Realizar purga de fondo de la caldera según el procedimiento establecido en la sección de operación de los equipos de purga.                                          |
|                  | 1.1.2                                                   | Mantener el nivel de agua dentro del rango normal de operación, mediante la verificación en el indicador de nivel LG-06.                                              |
|                  | 1.1.3                                                   | Accionar el interruptor de maniobra del quemador a la posición de apagado.                                                                                            |
|                  | 1.1.4                                                   | Cerrar las válvulas V-22, V-20 y V-24, responsables del suministro de gas a la unidad de operación.                                                                   |
|                  | 1.1.5                                                   | Leer la presión interna de la caldera en el manómetro PI-05, y cuando esta descienda a 25 psig, abrir la válvula de seguridad V-18 para permitir el venteo del vapor. |
|                  | 1.1.6                                                   | Cierre la válvula V-11 correspondiente al corte de alimentación de agua a la caldera.                                                                                 |
|                  | 1.1.7                                                   | Accionar el interruptor del tablero de control en la posición de apagado.                                                                                             |
|                  | 1.1.8                                                   | Accionar el breaker principal hacia la posición de apagado.                                                                                                           |
| Si = ✓           | <b>2. Bajo nivel de agua</b>                            |                                                                                                                                                                       |
| Si = ✓           | <i>2.1. Nivel bajo temporal</i>                         |                                                                                                                                                                       |

|        |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | 2.1.1                                               | Verificar el nivel de agua en el indicador de nivel LG-06. Si el nivel aún es visible, accionar el interruptor de maniobra del control de agua hacia la posición manual.                                                                                                   |
|        | 2.1.2                                               | Esperar hasta recuperar el nivel de operación y accionar el interruptor de control de nivel de agua hacia la posición automático.                                                                                                                                          |
|        | 2.1.3                                               | Abrir la válvula V-31 para realizar el purgado del cuerpo del controlador McDonnell & Miller y comprobar el nivel real.                                                                                                                                                    |
|        | 2.1.4                                               | Observar si el agua regresa al indicador de nivel LG-06. Si el nivel continúa descendiendo o desaparece, apagar el quemador mediante el interruptor de maniobra.                                                                                                           |
| Si = ✓ | <i>2.2. Nivel bajo permanente</i>                   |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|        | 2.2.1                                               | Si el nivel de agua no es visible en el indicador LG-06, apagar inmediatamente el quemador accionando el interruptor de maniobra a la posición apagado (Off).                                                                                                              |
|        | 2.2.2                                               | Cierre de forma inmediata la válvula V-11 de alimentación de agua, ya que resulta peligroso agregar agua a una caldera caliente vacía                                                                                                                                      |
|        | 2.2.3                                               | No abrir ninguna válvula para disminuir la presión y permitir que la caldera se enfríe natural y gradual.                                                                                                                                                                  |
| Si = ✓ | <b>3. Falla de un tubo</b>                          |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|        | 3.1.1                                               | Retirar la caldera de servicio siguiendo el procedimiento establecido para el retiro de la línea de operación.                                                                                                                                                             |
|        | 3.1.2                                               | Permitir que la unidad se enfríe de manera gradual, manteniendo el nivel de agua dentro del rango normal de operación.                                                                                                                                                     |
|        | 3.1.3                                               | Abrir los puertos de inspección necesarios e identificar la ubicación exacta de la falla                                                                                                                                                                                   |
|        | 3.1.4                                               | Informar al técnico o al personal responsable de mantenimiento.                                                                                                                                                                                                            |
| Si = ✓ | <b>4. Falla del sistema de agua de alimentación</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|        | 4.1.1                                               | Verificar el nivel de agua en el indicador LG-06.                                                                                                                                                                                                                          |
|        | 4.1.2                                               | Intentar reestablecer el nivel de agua accionando el interruptor de maniobra del control de nivel hacia la posición manual.                                                                                                                                                |
|        | 4.1.3                                               | Si el nivel de agua continúa descendiendo, proceder de acuerdo con el procedimiento establecido para bajo nivel de agua.                                                                                                                                                   |
|        | 4.1.4                                               | Si el nivel de agua aumenta de forma considerable, ajustar el nivel mediante la apertura de las válvulas V-30 y V-29, respectivamente, hasta alcanzar el rango normal de operación. Una vez restablecido el nivel, cerrar las válvulas en orden inverso al de su apertura. |
| Si = ✓ | <b>5. Falla del sistema de encendido</b>            |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|        | 5.1.1                                               | No intentar el encendido por medios alternos distintos al programador del sistema.                                                                                                                                                                                         |
|        | 5.1.2                                               | Mantener la caldera en condición de reserva en caliente, iniciando con el accionamiento del interruptor de maniobra del quemador hacia la posición de apagado (Off).                                                                                                       |

|  |       |                                                                                                                                                                                                |
|--|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 5.1.3 | Mantener el nivel de agua visible en el indicador LG-06.                                                                                                                                       |
|  | 5.1.4 | Adicionar agua de manera intermitente durante el enfriamiento de la caldera, con el fin de evitar condiciones de bajo nivel.                                                                   |
|  | 5.1.5 | Operar el quemador de manera continua o intermitente, según se requiera, para mantener la presión dentro del rango de operación.                                                               |
|  | 5.1.6 | Mantener la alimentación de agua durante la operación del quemador, asegurando que el nivel se conserve dentro del rango de operación.                                                         |
|  | 5.1.7 | Realizar la purga de la cámara de la caldera de acuerdo con el procedimiento establecido en la sección correspondiente.                                                                        |
|  | 5.1.8 | Ajustar la válvula V-20 para mantener un flujo mínimo de combustible, permitiendo una evaporación eficiente del condensado.                                                                    |
|  | 5.1.9 | Realizar una inspección completa del equipo, identificar la falla en el sistema de encendido e informar al técnico responsable.                                                                |
|  | 5.2   | Para retornar al servicio, verificar que la presión se encuentre dentro del rango de operación (80 - 100 psi) y accionar el interruptor de maniobra del quemador hacia la posición automático. |

## 10.7. Operación de las válvulas de seguridad

Las válvulas de seguridad son esenciales para prevenir condiciones de sobrepresión y garantizar la operación segura de la caldera. Estas válvulas deben verificarse de manera periódica con el fin de asegurar su correcto funcionamiento, ya que constituyen un mecanismo de protección ante posibles fallas o situaciones de riesgo. En la siguiente tabla se presenta el procedimiento de verificación de las válvulas de seguridad.

**Tabla 11.** *Procedimiento de verificación de las válvulas de seguridad.*

| Lista de Chequeo | Actividad                        |                                                                                                                                                                  |
|------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si = ✓           | <b>1. Preparación del equipo</b> |                                                                                                                                                                  |
|                  | 1.1.1                            | Verificar la limpieza de las bandejas de goteo y tubos de descarga                                                                                               |
|                  | 1.1.2                            | Revisar la hoja de datos de cada válvula y confirmar que sus características correspondan a las especificaciones establecidas.                                   |
|                  | 1.1.3                            | Registrar el número de serie de cada válvula y verificar que la conexión bajo el asiento (si aplica), se encuentre libre de obstrucciones.                       |
| Si = ✓           | <b>2. Prueba de apertura</b>     |                                                                                                                                                                  |
|                  | 2.1.1                            | Con la presión de vapor por encima del 90% de la presión normal de operación, abrir completamente la válvula V-18 con el fin de limpiarla y calentar el resorte. |
|                  | 2.1.2                            | Mantener la válvula V-18 abierta durante al menos 10 segundos, asegurando la expulsión de partículas y evitando su acumulación en el asiento de la válvula.      |

|        |                             |                                                                                                                                        |
|--------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                             | Una vez transcurridos los 10 segundos, cerrar la válvula V-18 y verificar su correcto funcionamiento.                                  |
|        | 2.1.3                       | Aumentar gradualmente la presión de la caldera mediante el ajuste del set point del controlador, hasta que la válvula V-18 actúe.      |
|        | 2.1.4                       | Registrar la presión de apertura y verificar que la válvula opere sin presencia de cavitación.                                         |
| Si = ✓ | <b>3. Prueba de cierre</b>  |                                                                                                                                        |
|        | 3.1.1                       | Reducir el flujo de combustible o apagar el quemador hasta que la válvula V-18 cierre.                                                 |
|        | 3.1.2                       | Registrar la presión de cierre y verificar que el cierre se realice sin presencia de cavitación.                                       |
|        | 3.1.3                       | Comparar la diferencia entre la presión de apertura y la de cierre (rango de actuación) de la válvula V-18, con el valor especificado. |
|        | 3.1.4                       | El personal autorizado debe realizar ajustes únicamente en caso de presentarse desviaciones.                                           |
| Si = ✓ | <b>4. Registro y cierre</b> |                                                                                                                                        |
|        | 4.1.1                       | Antes de efectuar cualquier ajuste, revisar cuidadosamente el manual de la válvula.                                                    |
|        | 4.1.2                       | Elaborar un acta con el registro de las presiones de apertura y cierre obtenidas después de los ajustes realizados.                    |
|        | 4.1.3                       | Registrar los responsables y las condiciones de operación durante la verificación.                                                     |

### 10.8. Tratamiento del agua de la caldera

La calidad del agua en una caldera es un factor fundamental para garantizar una vida útil prolongada de la unidad, así como para evitar problemas operacionales, fallas de gran magnitud y posibles situaciones de riesgo. Por esta razón, se debe realizar un control periódico de parámetros como el pH y la dureza. En la siguiente tabla se presenta el procedimiento para la verificación de estos parámetros, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

**Tabla 12.** *Procedimiento de verificación de la calidad del agua.*

| <b>Lista de Chequeo</b> | <b>Actividad</b>                    |                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Si = ✓                  | <b>1. Preparación de materiales</b> |                                                                                                                                                                                       |
|                         | 1.1.1                               | Alistar cuatro vasos de precipitados limpios, para la recolección de agua y la medición de pH.                                                                                        |
|                         | 1.1.2                               | Alistar el kit de dureza y verificar que contenga el reactivo indicador, el titulante, una jeringa, el dispensador de frasco graduado y el vaso de muestra con dos barras agitadoras. |
|                         | 1.1.3                               | Alistar el medidor de pH y verificar que se encuentre calibrado.                                                                                                                      |
|                         | 1.1.4                               | Disponer de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio para ajustar el pH, en caso de ser necesario.                                                                                      |



|        |                                 |                                                                                                                                                                                   |
|--------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | 1.1.5                           | Disponer de agua destilada para la purga y limpieza de los vasos entre cada muestra.                                                                                              |
|        | 1.1.6                           | Alistar el agitador magnético y un par de guantes de nitrilo.                                                                                                                     |
|        | 1.1.7                           | Ubicar todos los implementos en el área de trabajo.                                                                                                                               |
| Si = ✓ | <b>2. Toma de muestras</b>      |                                                                                                                                                                                   |
|        | 2.1.1                           | Colocarse los guantes y mantener en todo momento los elementos de protección personal, con el fin de evitar la contaminación de las muestras.                                     |
|        | 2.1.2                           | Tomar los dos vasos de precipitado y dirigirse hacia la zona de operación de la caldera.                                                                                          |
|        | 2.1.3                           | Identificar los puntos de muestreo correspondientes a la línea de purga del tanque de almacenamiento y a la cámara de la caldera.                                                 |
|        | 2.1.4                           | Abrir la válvula V-12 y permitir la salida agua durante 10 segundos para eliminar los precipitados acumulados.                                                                    |
|        | 2.1.5                           | Recoger 100 ml de la muestra 1 en un vaso de precipitado y dejarla sobre una superficie plana para evitar derrames o contaminación.                                               |
|        | 2.1.6                           | Abrir totalmente la válvula V-30, ubicada en la parte inferior trasera de la caldera, y posteriormente abrir la válvula V-29.                                                     |
|        | 2.1.7                           | Mantener las válvulas abiertas durante 10 segundos para realizar la purga.                                                                                                        |
|        | 2.1.8                           | Recoger 100 ml de la muestra 2 correspondiente a la cámara de la caldera en un segundo vaso de precipitados.                                                                      |
|        | 2.1.9                           | Manipular ambas muestras con cuidado y trasladarlas a la zona de titulación.                                                                                                      |
| Si = ✓ | <b>3. Medición del pH</b>       |                                                                                                                                                                                   |
|        | 3.1.1                           | Tomar un vaso de precipitados, enjuagarlo con agua destilada y utilizarlo para la medición de la muestra.                                                                         |
|        | 3.1.2                           | Verter una porción de la primera muestra en el vaso de precipitados, asegurando que el electrodo quede sumergido sin entrar en contacto con el fondo.                             |
|        | 3.1.3                           | Encender el medidor de pH e introducir el electrodo en el vaso, evitando contacto con las paredes y la presencia de burbujas que puedan afectar la lectura.                       |
|        | 3.1.4                           | Esperar a que la lectura se estabilice y registrar el valor de pH obtenido.                                                                                                       |
|        | 3.1.5                           | Si el valor de pH se encuentra dentro del rango adecuado (10,5 – 11,5), proceder con la medición de dureza; en caso contrario, ajustar el pH de la muestra sin desecharla.        |
|        | 3.1.6                           | Repetir el mismo procedimiento con la segunda muestra.                                                                                                                            |
| Si = ✓ | <b>4. Ajuste de pH alcalino</b> |                                                                                                                                                                                   |
|        | 4.1.1                           | Comparar el valor de pH con el rango establecido (10,5 – 11,5). Si el valor se encuentra por encima de este rango, ajustar la muestra mediante titulación con una solución ácida. |
|        | 4.1.2                           | Aforar la bureta con ácido clorhídrico hasta el nivel de referencia de 0 ml, asegurando la ausencia de burbujas de aire en su interior.                                           |

|        |                                 |                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | 4.1.3                           | Introducir la barra agitadora en el vaso de precipitado y colocar el recipiente sobre el agitador magnético.                                                                                                                           |
|        | 4.1.4                           | Iniciar la agitación y ajustar la velocidad a 200 rpm.                                                                                                                                                                                 |
|        | 4.1.5                           | Realizar la titulación mediante la adición de ácido gota a gota, controlando el flujo con la llave de la bureta.                                                                                                                       |
|        | 4.1.6                           | Sumergir el electrodo de pH en el vaso de precipitado para registrar las variaciones en tiempo real                                                                                                                                    |
|        | 4.1.7                           | Adicionar titulante hasta que el valor de pH alcance el rango óptimo (10,5 – 11,5).                                                                                                                                                    |
|        | 4.1.8                           | Una vez finalizada la titulación y realizado el ajuste, proceder con la medición de la dureza del agua.                                                                                                                                |
|        | 4.1.9                           | Repetir el procedimiento con la segunda muestra en caso de que también presente valores de pH por encima del rango establecido.                                                                                                        |
| Si = ✓ | <b>5. Ajuste de pH ácido</b>    |                                                                                                                                                                                                                                        |
|        | 5.1.1                           | Comparar el valor de pH con el rango establecido (10,5 – 11,5). Si el valor se encuentra por debajo de este rango, ajustar la muestra mediante titulación con una solución básica.                                                     |
|        | 5.1.2                           | Aforar la bureta con hidróxido de sodio hasta el nivel de referencia de 0 ml, asegurando la ausencia de burbujas de aire en su interior.                                                                                               |
|        | 5.1.3                           | Introducir la barra agitadora en el vaso de precipitado y colocar el recipiente sobre el agitador magnético.                                                                                                                           |
|        | 5.1.4                           | Iniciar la agitación y ajustar la velocidad a 200 rpm.                                                                                                                                                                                 |
|        | 5.1.5                           | Realizar la titulación mediante la adición de hidróxido gota a gota, controlando el flujo con la llave de la bureta.                                                                                                                   |
|        | 5.1.6                           | Sumergir el electrodo de pH en el vaso de precipitado para registrar las variaciones en tiempo real.                                                                                                                                   |
|        | 5.1.7                           | Adicionar titulante hasta que el valor de pH alcance el rango óptimo (10,5 – 11,5).                                                                                                                                                    |
|        | 5.1.8                           | Una vez finalizada la titulación y realizado el ajuste, proceder con la medición de la dureza del agua.                                                                                                                                |
|        | 5.1.9                           | Repetir el procedimiento con la segunda muestra en caso de que también presente valores de pH por debajo del rango establecido.                                                                                                        |
| Si = ✓ | <b>6. Medición de la dureza</b> |                                                                                                                                                                                                                                        |
|        | 6.1.1                           | Tomar 5 ml de la primera muestra con la jeringa y transferirlos al recipiente de reacción del kit.                                                                                                                                     |
|        | 6.1.2                           | Introducir la barra magnética en el recipiente, colocarlo sobre el agitador magnético, encender el equipo y ajustar la velocidad a 200 rpm.                                                                                            |
|        | 6.1.3                           | Adicionar 3 gotas del agente indicador, Negro de Eriocromo.                                                                                                                                                                            |
|        | 6.1.4                           | Observar el color de la muestra. Si se torna verde de manera inmediata, se confirma la ausencia de dureza y se registra el resultado como cero; si adquiere un tono rojizo, indica presencia de dureza y se procede con la titulación. |
|        | 6.1.5                           | Aforar el dispensador del titulante EDTA la marca de 0 ml.                                                                                                                                                                             |

|  |       |                                                                                                                                             |
|--|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 6.1.6 | Adicionar el titulante (EDTA) gota a gota, manteniendo la agitación constante, hasta observar el cambio de color rojizo a verde permanente. |
|  | 6.1.7 | Registrar el volumen de EDTA consumido, el cual corresponde a la dureza total de muestra.                                                   |
|  | 6.1.8 | Con el valor obtenido, verificar que se encuentre dentro del rango de 0 – 5 mg/l CaCO <sub>3</sub>                                          |
|  | 6.1.9 | Realizar el purgado de los recipientes y realizar el mismo procedimiento con la segunda muestra.                                            |

## 11. Mantenimiento

Con el fin de garantizar la seguridad, confiabilidad y continuidad operativa de la caldera del Laboratorio de Procesos (LabPro), se deben realizar actividades periódicas de mantenimiento e inspección de acuerdo con el programa establecido para el equipo.

El mantenimiento general de la caldera se realiza de forma anual o cuando las condiciones operativas, inspecciones, fallas detectadas o recomendaciones técnicas así lo requieran. Estas actividades incluyen la revisión de los sistemas de combustión, alimentación de agua, control, seguridad y demás componentes asociados al funcionamiento de la unidad. La planificación, supervisión y verificación de las actividades de mantenimiento estarán a cargo de la entidad designada por los directivos de la Escuela de Ingeniería Química.

Como parte del mantenimiento preventivo, el personal técnico realiza la inspección y limpieza de los filtros asociados a los sistemas auxiliares de la caldera con una frecuencia bimensual o cuando se evidencien condiciones que puedan afectar su desempeño. Estas actividades tienen como finalidad prevenir obstrucciones, garantizar el adecuado flujo de los fluidos de proceso y contribuir al correcto funcionamiento del equipo.

Todas las actividades de mantenimiento e inspección deberán ser registradas y documentadas de acuerdo con los procedimientos establecidos por el LabPro.