



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL EN LOS FILTROS TIPO  
BOLSA PARA LA ELIMINACIÓN DE CENIZA DE COMBUSTIÓN EN  
CARBOGENERADORAS**

**Arnoldo Isaac Pérez Calderón**

Asesorado por el Ing. Jorge Antonio Rojas Castillo

Guatemala, noviembre de 2018



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL EN LOS FILTROS TIPO  
BOLSA PARA LA ELIMINACIÓN DE CENIZA DE COMBUSTIÓN EN  
CARBOGENERADORAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ARNOLDO ISAAC PÉREZ CALDERÓN**

ASESORADO POR EL ING. JORGE ANTONIO ROJAS CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Morataya Ramos
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonzo Rivera Castillo
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL EN LOS FILTROS TIPO BOLSA PARA LA ELIMINACIÓN DE CENIZA DE COMBUSTIÓN EN CARBOGENERADORAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de enero de 2017.

**Arnoldo Isaac Pérez Calderón**





## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por darme la vida y la oportunidad de seguir adelante con propósitos y deseos.

### **Mis padres**

Arnoldo Pérez y Flora Calderón de Pérez, gracias por el apoyo brindado durante tanto tiempo, gracias por el gran ejemplo que han sido en mi vida.

### **Mis hermanos**

Hanz y Alan Pérez por la ayuda que me brindaron de una u otra forma para lograr esta meta. Deseo que este acto sea una muestra de que con esfuerzo, trabajo y la ayuda de Dios, los objetivos pueden cumplirse.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Mis padres** Arnoldo Pérez y Flora Calderón de Pérez, por darme su apoyo incondicional, enseñarme valores que siempre me servirán y, sobre todo, por su amor.
- Mi familia** Mis hermanos Hanz y Alan Pérez, por darme cariño y hacerme sentir en casa.
- Mis asesores** Ing. Jorge Rojas, por el apoyo que me ha brindado en la elaboración de este trabajo de graduación y por cada uno de los momentos que ha compartido.
- Mis amigos** Por brindarme el apoyo cuando lo necesitaba y no esperar algo a cambio, por todos estos años de verdadera amistad.
- Facultad de Ingeniería** Por brindarme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria dentro de sus aulas.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. FILTROS DE CENIZA TIPO BOLSA EN GENERADORAS ELÉCTRICAS A BASE DE CARBÓN MINERAL.....	1
1.1. Descripción del funcionamiento de las calderas acuotubulares.....	1
1.2. Flujo de gases dentro de la caldera.....	3
1.2.1. Funcionamiento del ventilador de tiro forzado .....	5
1.2.2. Funcionamiento del ventilador de tiro inducido.....	6
1.3. Diagrama de flujo de gases del sistema de emisión de gases.....	7
1.4. Descripción de las parte de los <i>baghouse</i> .....	8
1.4.1. Descripción de los módulos.....	13
1.4.2. Descripción de los calentadores de tolva ( <i>hooperheater</i> ).....	15
1.4.3. Descripción del <i>bypass</i> .....	15
1.4.4. Funcionalidad del ventilador de aire reverso y su operación.....	16
1.5. Normativas en el diseño de <i>baghouse</i> .....	18

2.	OPERATIVA DE LOS FILTROS TIPO BOLSA PARA GENERADORAS ELÉCTRICAS.....	21
2.1.	Descripción de la operación del <i>baghouse</i> .....	21
2.1.1.	Modo de operación continuo .....	25
2.1.2.	Modo de operación por tiempo .....	26
2.1.3.	Modo de operación por presión diferencial.....	27
2.1.4.	Modo de operación para mantenimiento .....	29
2.2.	Descripción de operación a través del <i>bypass</i> .....	29
2.3.	Vinculación del <i>baghouse</i> con el recolector de ceniza volátil...	30
3.	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO TIPO BOLSAS.....	33
3.1.	Control y automatización del proceso de funcionamiento de filtros tipo bolsa .....	33
3.1.1.	Selección de variables a analizar por el PLC .....	34
3.1.2.	Descripción de las líneas de programación.....	40
3.1.3.	Coordinación de tiempos y parámetros a definir .....	43
3.2.	Funcionamiento de los detectores de bolsa rota y aplicación en el filtro de bolsas .....	44
3.3.	Sensores de temperatura e interruptores de temperatura en el filtro de bolsas .....	46
3.4.	Transmisores de presión y su relación con la selección en el modo de limpieza .....	49
3.5.	Aplicaciones de las válvulas neumáticas y eléctricas en la operación de compuertas de entrada y salida de gases .....	50

4.	COSTOS, EVALUACIÓN Y PLANES DE MANTENIMIENTO PARA FILTROS TIPO BOLSA.....	53
4.1.	Evaluación de costos en la automatización del proceso del <i>baghouse</i> .....	53
4.2.	Planes de mantenimiento para la operación del filtro de bolsas .....	55
4.2.1.	Planes de mantenimiento a la instrumentación .....	55
4.2.2.	Planes de mantenimiento eléctrico .....	65
4.2.3.	Planes de mantenimiento mecánico .....	68
	CONCLUSIONES .....	71
	RECOMENDACIONES .....	73
	BIBLIOGRAFIA .....	75





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Flujo de gases en los sistemas auxiliares y la caldera .....	7
2.	Vista transversal de un filtro tipo bolsas .....	9
3.	Forma típica de los módulos de los filtros .....	14
4.	Dirección de los flujos de aire en el ventilador de aire reverso .....	17
5.	Flujo de gases dentro de los filtros.....	22
6.	Material particulado adherido a las fibras de la tela .....	28
7.	Sistema recolector de ceniza volátil .....	31
8.	Posibles fallas en el sistema para la activación de la alarma.....	41
9.	Secuencia modo de limpieza .....	42
10.	Instalación del sensor de bolsa rota en ductos de gases .....	45
11.	Sensor de bolsa rota .....	45
12.	Diagrama de bloque eléctrico del sensor de bolsa rota.....	46
13.	Sensor de temperatura.....	48
14.	Cuerpo de válvula tipo mariposa .....	51

### TABLAS

I.	Listado de señales en programa de PLC del filtro.....	36
II.	Costos de equipos de filtros .....	53
III.	Costos relevantes en proyecto de filtros .....	54



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Cm</b>	Centímetro
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>Hz</b>	Hertzio
<b>Kpa</b>	Kilo pascal
<b>Psi</b>	Libra por pulgada cuadrada
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m</b>	Metro
<b>mAmp</b>	Miliamperio
<b>InH<sub>2</sub>O</b>	Pulgadas de agua
<b>InHg</b>	Pulgadas de mercurio
<b>S</b>	Segundo
<b>bar</b>	Unidad de presión



## GLOSARIO

<b>Acuotubulares</b>	Calderas en las que el fluido de trabajo se desplaza por tubos durante su calentamiento.
<b>Automatización</b>	Operación en un proceso de fabricación o maniobra de algún aparato que tiende a remplazar al hombre por mecanismos más rápidos y precisos.
<b>Baja tensión</b>	Nivel de tensión igual o inferior a mil voltios.
<b>Central</b>	Conjunto de una o más unidades generadoras de energía eléctrica, localizadas en una misma área.
<b>Cogenerador</b>	Propietario de instalaciones de producción de energía que la utiliza para uso propio y tiene excedentes para la venta a terceros.
<b>Fieldbus</b>	Bus de campo, sistema de comunicación entre dispositivos, basados en buses.
<b>Instrumento indicador</b>	Un instrumento de medida en el cual el valor de la cantidad medida es indicativo visualmente.
<b>Instrumento medidor</b>	Un dispositivo para comprobar la magnitud física o condición presentada por esta.

<b>Interfaces</b>	Son los puntos en los que se establece una conexión entre dos o varios elementos, los cuales les permite trabajar juntos. La interfaz es la medición que permite interacción entre esos elementos. Dichos puntos permiten que las personas puedan comunicarse con los programas.
<b>Media tensión</b>	Nivel de tensión superior a mil voltios y menor o igual a sesenta mil voltios.
<b>PLC</b>	Programador lógico controlable.
<b>Proceso</b>	Las funciones colectivas realizadas por el equipo donde la variable es controlada.
<b>RTD</b>	Sensor de temperatura resistivo.
<b>Sensor magnético</b>	Recibe una magnitud física y la transforma en señal eléctrica, sensible a las variaciones de las líneas de fuerza del campo magnético causadas por la masa magnética de un cuerpo externo.
<b>Señal de mando</b>	La alimentación o entrada que se establece o varía por un medio externo al sistema de control de reacción que se considera, e independiente de este.
<b>Sistema de control</b>	Un sistema en el cual se usa una guía deliberada o manipulación para alcanzar un valor preestablecido de una variable.

<b>Transductor</b>	Dispositivo que convierte la potencia de una corriente eléctrica en potencia mecánica o acústica o la presión de las vibraciones acústicas en señales eléctricas, también, la aplicación inversa.
<b>Tiempo de respuesta</b>	Tiempo necesario para que la variable controlada alcance un valor específico después de la aplicación.





## RESUMEN

El equipo está desarrollado para eliminar la ceniza volátil que está presente en los gases de combustión de las calderas.

La captación y depuración de partículas presenta una problemática muy diversa en los distintos procesos industriales que generan emisiones a la atmósfera. La recuperación de productos en polvo del gas de descarga es vital en cualquier industria para evitar los problemas de polución o aumentar el rendimiento de la planta.

Los filtros de mangas son uno de los equipos más representativos de la separación sólido-gas mediante un medio poroso; aparecen en todos aquellos procesos en los que sea necesaria la eliminación de partículas sólidas de una corriente gaseosa. Eliminan las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndola pasar a través de un tejido.

En ocasiones el condicionante de la separación será un factor de seguridad, ya que algunos productos en estado de partículas muy finas forman mezclas explosivas.

Los filtros de mangas son capaces de recoger altas cargas de partículas resultantes de procesos industriales de muy diversos sectores: cemento, yeso, cerámica, caucho, química, petroquímica, siderúrgica, automovilística, cal, minera, amianto, aluminio, hierro, coque, silicatos, almidón, carbón, anilina, fibras, granos, etc.

En el proceso se hace necesario realizar un control del tipo lazo abierto, este ve de forma continua la temperatura de entrada en los gases de combustión, el estado de disponibilidad de los módulos en el sentido de que estén habilitados para su operación, la confirmación de la energización de todo los sistemas, la presión de aire de instrumentación, la apertura y el cierre adecuada de los módulos.

Toda esta información, más la ejecución del trabajo, se coordina desde la programación en el PLC; este se vale de equipos como: sensores de temperatura, transmisores de presión, cilindros neumáticos, compuertas motorizadas, calentadores de tolva, *switch* de nivel, *switch* de posición, *switch* de temperatura, indicadores de presión, tablero de mando, control con pulsadores para la selección de diferentes modos de operación.

# OBJETIVOS

## General

Crear una herramienta para estudiantes y profesionales que deseen implementar la instrumentación y automatización en filtros de ceniza tipo bolsa para las generadoras eléctricas que funcionan a base de carbón mineral, que se pueda dar un mantenimiento adecuado a los instrumentos y equipos en general usados en este tipo de filtro.

## Específicos

1. Explicar de forma general el funcionamiento de las calderas acuotubulares, el porqué de la ceniza volátil cuando operan para generar vapor dentro de las generadoras eléctricas, haciendo énfasis en las necesidades de los filtros automatizados.
2. Realizar una síntesis de implementación de instrumentos en la automatización de los filtros tipo bolsa para la eliminación de ceniza volátil con el enfoque de dichos procesos.
3. Dar a conocer las variables de entrada y salida de automatización en los filtros tipo bolsa y su vinculación con el proceso.
4. Determinar diferentes pautas para realizar mantenimiento a los equipos utilizados, eléctricos, instrumentación y mecánicos.



## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la parte de instrumentación y el control ha logrado lo que décadas atrás parecía fantasía, hoy es una realidad cotidiana difícil de desprenderse de ella. En estos dos campos se evidencia un gran crecimiento e innovación tecnológico: desde controlar un proceso simple hasta el control total de una central de generación de energía; rápidamente, se desarrollan equipos más compactos con más prestaciones que desplazaron, muchas actividades mecánicas desgastantes para el operario.

Al implementar la instrumentación y el control en los procesos industriales se apunta a la eficiencia en las empresas para un alto desempeño de producción, que contempla objetivos más contundentes.

La energía eléctrica se obtiene del proceso de conversión de energía proveniente de energía mecánica, hidráulica, térmica, solar, entre otras. En este proceso se destaca la generación de energía térmica donde sus bases se perfilan al movimiento de un generador por una turbina que inyecta vapor saturado producido por una caldera que utiliza combustible fósil (carbón mineral) para dicho proceso.

En la operación de la caldera se emanan gases y ceniza, lo que provoca la necesidad de recolectar la ceniza dentro de estos gases y que dicha ceniza no salga expulsada al ambiente que rodea a la planta de generación de energía eléctrica; tomando en cuenta que estos gases salen a altas temperaturas, se diseñó este tipo de recolector o filtro de mangas que realiza este proceso de una forma automatizada.



# **1. FILTROS DE CENIZA TIPO BOLSA EN GENERADORAS ELÉCTRICAS A BASE DE CARBÓN MINERAL**

El sistema es creado para incrementar la calidad del aire que emana de los procesos industriales, para eliminar residuos que surgen de la combustión del combustible fósil; también, cualquier material en partículas dentro del flujo; en la industria de la generación de energía; las calderas como elemento de conversión de energía utilizan el carbón mineral como combustible, la ceniza es el residuo de esta combustión; donde emerge la utilización de los filtros que atrapan estas partículas.

## **1.1. Descripción del funcionamiento de las calderas acuatubulares**

Las calderas son la parte más importante del circuito de vapor. Una caldera puede definirse como un recipiente donde se transfiere la energía calorífica de un combustible a un líquido que modifica su estado. En el caso del vapor saturado, la caldera proporciona también energía calorífica para producir un cambio de la fase de líquido a vapor.

Históricamente, la sala de calderas siempre ha exigido un nivel alto de vigilancia manual para proporcionar seguridad para la planta. La manera actual de pensar exige que estas plantas trabajen eficazmente y que pueda igualar lo máximo posible el suministro con la demanda. En algunos casos, esto puede significar calderas que trabajan continuamente. De cualquier modo, la tecnología moderna permite al ingeniero de diseño escoger el régimen para el cual la caldera trabaje de manera confiable y para ajustarse mejor a su

aplicación, con sistemas de control capaces de proporcionar el grado requerido de eficacia, integridad y seguridad.

Una caldera es a menudo el equipo más grande que se encuentra en un circuito de vapor. Su tamaño puede depender de la aplicación en la que se usa. En una instalación grande donde existen cargas de vapor variables pueden usarse varias calderas.

La producción del vapor de agua depende de la correspondencia que exista entre dos de las características fundamentales del estado gaseoso: presión y temperatura.

A cualquier temperatura, por baja que esta sea, se puede vaporizar agua, con tal que se disminuya convenientemente la presión a la que se encuentre sometido dicho líquido; cabe resaltar que a cualquier presión puede ser vaporizada el agua, con tal que se aumente convenientemente su temperatura.

Aunque el término caldera comprende el sistema total de generación de vapor, el concepto superficial caldera excluye la del economizador, la del sobrecalentado, la del recalentador y la de cualquier otro componente que no esté comprendido en el propio sistema de circulación agua-vapor por lo tanto, la superficie de la caldera es el conjunto de tubos, calderines y recipientes que forman parte del sistema de circulación de la mezcla agua-vapor, y que están en contacto con los gases calientes. Las calderas se pueden clasificar en tubos de humos o piro tubulares y de tubos de agua acuotubulares.

Las calderas modernas de elevada capacidad, potencia y presión, son siempre acuotubulares; en ellas, los flujos de agua y vapor circulan por el interior de los tubos, mientras que los gases calientes lo hacen por el exterior.



El sistema de circulación de la caldera está constituido por tubos, colectores y calderines, conectados de forma que el flujo de agua que circula para generar el vapor, refrigere a otros componentes.

La caldera acuotubular ofrece una mayor versatilidad en la disposición de sus componentes, lo que facilita un aprovechamiento más eficiente del hogar, del calentador, del recalentador y de todas las superficies termointercambiadoras.

## **1.2. Flujo de gases dentro de la caldera**

Da inicio el flujo de gases con aire que se introduce en la caldera a través del ventilador de tiro forzado, como su nombre lo indica, empuja aire tomado de la atmosfera a entrar en la caldera para mantener la combustión adecuada; claro está, que este aire que ingresa en la caldera para mantener una mayor eficiencia térmica recibe una elevación de temperatura con un intercambio de calor de los gases que salen de la misma, denominados gases de combustión; estos que salen en alta temperatura, elevan la temperatura del flujo de aire que está ingresando de la atmosfera y que se dirigen al hogar de la caldera proporciona uno de tres elementos requerido para realizar la combustión, entiéndase: combustible, oxígeno y chispa.

Luego que se desarrolla el proceso de oxidación del combustible en el hogar de la caldera, se genera una mezcla de gases junto con la ceniza, los que son extraídos de la caldera por succión procedente del ventilador de tiro inducido; el recorrido que realiza este flujo de gases dentro de los ductos es aprovechado para ceder la temperatura que traen en el proceso a través de intercambiadores de calor como el economizador que es una elevación de temperatura para el agua que ingresa en el domo superior de la caldera;

también, se utilizan los gases de combustión como ya se había mencionado para elevar la temperatura del aire de ingreso al hogar de la caldera con lo que se conoce como el precalentador, también, puede ser tomada porción de este flujo a través de tolvas de convección y reinyectar ceniza que cuenta aún con poder calorífico dentro del hogar de la caldera.

Dentro de lo que se conoce como flujo de gases no se debe confundir el aire que se mezcla con el combustible; por ejemplo, en el quemador, donde ingresa aire con combustible por el proceso de pulverizado o también de otros pasajes que no interviene en la combustión que su flujo es descartable por su magnitud. En algunas ocasiones suelen llamarse a estos gases aire primario por que interviene directamente en la combustión; en cambio, el otro se denomina aire secundario y solo se diluye con los gases de combustión.

Luego de tener un vistazo general del flujo de gases, se puede comprender que estos contienen ceniza procedente de la oxidación del combustible fósil y que se encuentran con alta temperatura; dependiendo del tipo de caldera, estos podrían estar alrededor de 300 °F.

El porcentaje de ceniza volátil procedente de la caldera está entre un rango de 5 % - 15 % del combustible ingresado; esto se encuentra en proporción con la calidad del carbón y la eficiencia de la combustión dentro del hogar de la caldera; por ejemplo, la caldera ingresa al día 260 toneladas de carbón, se tendrían que tirar por la chimenea unas 39 toneladas de ceniza al ambiente cuestión que está penalizado por las leyes de protección al medio ambiente; punto donde surge el interés de implementar un sistema que realice la recolección de la ceniza de forma automatizada; como se le conoce en la industria casa de bolsas: sistema que recolecta la ceniza antes de que salga a la atmósfera y contamine el medio ambiente.

### **1.2.1. Funcionamiento del ventilador de tiro forzado**

El ventilador de tiro forzado es utilizado para introducir al hogar de las calderas el oxígeno necesario para producir una buena combustión; debe tener una presión de descarga lo suficientemente grande para igualar la resistencia total de los conductos de aire, calentadores de aire, quemadores y cualquier otra resistencia entre el ventilador y la descarga en el hogar. Esto hace del hogar el punto de tiro equilibrado.

Para establecer las características necesarias en los ventiladores de tiro forzado, la resistencia del sistema desde el ventilador hasta el hogar se calcula mediante el peso de aire necesario para la combustión más las pérdidas esperadas desde el lado del aire al lado de humos. Esto contemplando que la temperatura del aire de entrada es de 27 °C.

La selección de los ventiladores de tiro forzado se realizará tomando en consideración la fiabilidad; porque las calderas deben funcionar de forma continua durante periodos de tiempo muy prolongado; lo que hace que estos tengan un rotor muy robusto, lo mismo para la carcasa y los cojinetes; el rendimiento es necesario que sea alto en todo el rango de operación, por el funcionamiento y la estabilidad de la caldera; la presión de descarga del ventilador debe variar de forma uniforme dentro de todo el rango de funcionamiento; esto facilita el control de la caldera y asegura unas perturbaciones mínimas del caudal de aire cuando los ajustes de los quemadores provoquen variación en la resistencia del sistema.

Dentro de los ductos que dan guía al flujo de aire se deben encontrar deflectores para distribuir el aire de forma uniforme en el hogar de la caldera y

generar su distribución laminar, cuestión que ayuda a hacer más eficiente la combustión.

### **1.2.2. Funcionamiento del ventilador de tiro inducido**

La actividad más sobresaliente del ventilador de tiro inducido como su nombre lo indica es inducir los gases de combustión hacia afuera del hogar de la caldera; esto lo realiza generando una presión negativa en el hogar de la caldera que logra succionar los gases de combustión dejando espacio para ingresar más oxígeno a la caldera proveniente del ventilador de tiro forzado.

El peso de gas que se utiliza para calcular los ventiladores de tiro inducido es el peso de los productos gaseoso de la combustión a la potencia máxima de la caldera, más la fugas de entrada a la caldera a través del encapsulado, más las fugas de los calentadores de aire desde el lado de aire al lado de humos. La temperatura neta de los humos se calcula para la potencia máxima de la caldera.

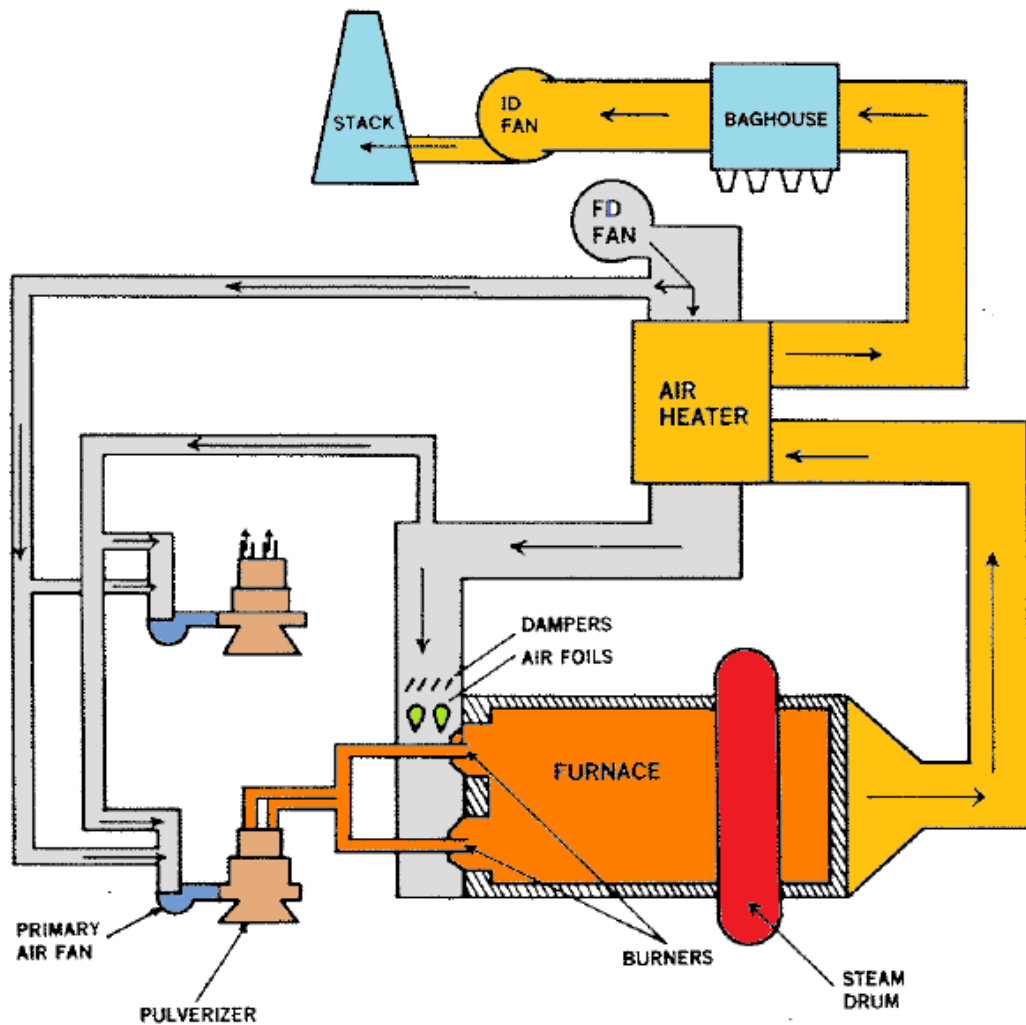
Algo importante que se debe tomar en cuenta es que estos ventiladores manipulan gases con alta temperatura y que estos gases pueden contener partículas sólidas, corrosivas que pueden dañar los alabes del ventilador.

Por lo tanto, el tiro inducido en breves palabras toma el aire del hogar de la caldera y lo extrae hasta expulsarlo por la chimenea. Pero antes de expulsarlo pasa por los filtros que recolectan la ceniza evitando así el desgaste de los alabes del ventilador y la propagación de la ceniza en el ambiente.

### 1.3. Diagrama de flujo de gases del sistema de emisión de gases

El flujo dentro del sistema se desarrolla en etapas y se ilustra en la siguiente figura donde se puede observar a través de flechas la dirección de los gases.

Figura 1. Flujo de gases en los sistemas auxiliares y la caldera



Fuente: Industrie elektronik GMBH & CO KG. *Filterwatch D-FW 230 MANUAL*, p. 58.

#### **1.4. Descripción de las parte de los *baghouse***

El equipo está diseñado para eliminar ceniza volátil de los gases de combustión en calderas tipo acuotubulares. Los filtros se diseñan según las necesidades requeridas por las normativas con base en las necesidades del flujo de gases en la caldera.

Los filtros están diseñados para funcionar bajo presión negativa, producto de la succión del ventilador inducido y se requiere que los mismos operen de forma continua.

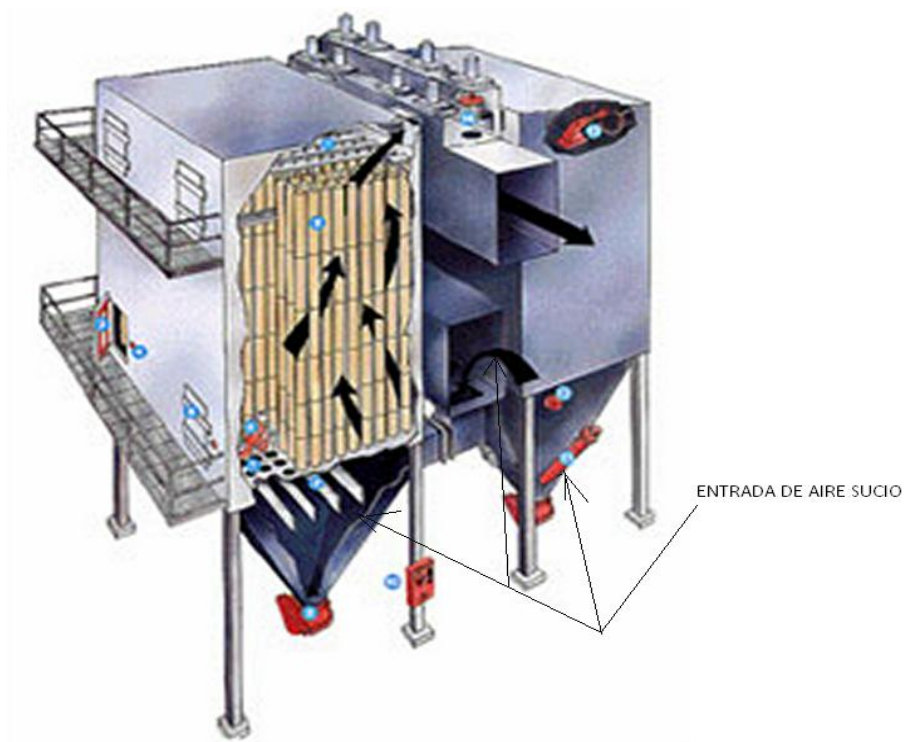
Cada tipo modular colector de polvo contiene bolsas de fibra de vidrio los gases de combustión entrar en el colector de tal manera que las partículas grandes tienden a establecerse fuera del flujo y se depositan directamente en las tolvas, producto de la energía cinética de las partículas más grandes.

En un filtro de tela, el gas residual se pasa por una tela de tejido apretado o de fieltro lo que causa que la ceniza sea recolectada en la tela por tamizado. Los filtros de tela pueden ser en forma de hojas, cartuchos o bolsas, con un número de unidades individuales de filtros de tela encasillados en grupo. Las bolsas son el tipo más común de filtro.

La capa de polvo que se forma sobre el filtro por la ceniza recolectada puede aumentar la eficiencia de recolección significativamente. Esta misma capa dificulta el paso a otras partículas de ceniza que vienen en el flujo.

A los filtros de tela se les conoce frecuentemente como casas de bolsas, la configuración por lo general de las bolsas es cilíndrica.

Figura 2. **Vista transversal de un filtro tipo bolsas**



Fuente: Industrie elektronik GMBH & CO KG. *Filterwatch D-FW 230 MANUAL*. p. 58.

Las bolsas pueden ser de 6 a 9 m de largo (20 a 30 pies) y de 12,7 a 30,5 cm (5 a 12 pulgadas) de diámetro. Se colocan grupos de bolsas en compartimientos aislables para permitir la limpieza de las bolsas o el reemplazo de algunas de ellas sin tener que interrumpir todo el sistema.

Las condiciones de operación son factores importantes para la selección de la tela. Algunas telas (por ejemplo, poliolefinas, de nylon, acrílicos, poliésteres) son útiles solamente a temperaturas relativamente bajas de 95 °C a 150 °C (200 °F a 300 °F). Para corrientes de gas residual a altas temperaturas, deben utilizarse telas más estables térmicamente, como la fibra de vidrio, el teflón o el nomex.

La aplicación práctica de los filtros de tela requiere el uso de una gran superficie de tela para evitar una inaceptable caída de presión a través de la tela. El tamaño de la casa de bolsas para una unidad en particular se determina por la selección de la relación de aire-a-tela o la relación de flujo volumétrico de aire a la superficie del tejido.

La selección de la relación de aire-tela depende de la carga y las características del tamaño de la partícula que se requiere filtrar y del método de limpieza utilizado.

Una carga alta de partículas requerirá el uso de una casa de bolsas más amplia para evitar la formación de una plasta de polvo muy pesada, lo que resultaría en una caída de presión excesiva. Por ejemplo, una casa de bolsa para una caldera de termoeléctrica de 250 MW puede tener 5 000 bolsas individuales, con una superficie total de tela cercana a los 46 500 m<sup>2</sup>.

El funcionamiento de las casas de bolsas está determinado, entre otros factores, por la tela seleccionada, la frecuencia, el método de limpieza y las características del particulado. Pueden seleccionarse telas para que intercepten una fracción mayor del particulado y algunas telas están recubiertas con una membrana con aperturas muy finas para mejorar la remoción de las partículas submicrométricas.

Estas telas suelen ser más caras. La intensidad y la frecuencia de la limpieza son variables importantes que determinan la eficiencia de remoción. Debido a que la plasta de polvo puede proporcionar una fracción significativa de la capacidad de remoción de partículas finas de una tela, la limpieza demasiado frecuente o demasiado intensa disminuirá la eficiencia de remoción.



Por otra parte, si la remoción es demasiado infrecuente o inefectiva, entonces, la caída de presión de la casa de bolsas llegará a ser muy alta.

La limpieza con aire invertido es un método popular de limpieza de filtros de tela que ha sido utilizado extensamente y siendo mejorado a través de los años. Es un mecanismo limpiador más ligero que el sacudimiento mecánico, pero a veces menos efectivo. La mayoría de los filtros de tela con aire invertido operan de una manera similar a los filtros de tela limpiados por sacudimiento. Típicamente, las bolsas están abiertas en el fondo, cerradas en la parte superior y el gas fluye de la parte interior a la parte exterior de las bolsas, el polvo se captura en el interior. Sin embargo, algunos diseños con aire invertido recolectan el polvo en el exterior de las bolsas.

En cualquiera de los diseños, la limpieza con aire invertido se lleva a cabo forzando aire limpio a través de los filtros en la dirección opuesta al flujo del gas empolvado.

El cambio de dirección del flujo del gas causa que la bolsa se doble y quiebre la plasta de polvo. En la recolección de la plasta interna, se permite que las bolsas se desintegren hasta cierto grado durante la limpieza con aire invertido. Por lo general, se evita que las bolsas se desintegren por completo mediante algún tipo de soporte, tal como anillos metálicos o tipos de canastas metálicas que son el soporte de las bolsas. Este soporte permite que la plasta de polvo caiga de las bolsas hacia la tolva.

El desprendimiento de la plasta de polvo es propiciado también por el flujo invertido del gas. Debido a que las telas de fieltro retienen el polvo más que las telas tejidas, son más difíciles de limpiar, motivo por el cual las felpas no son usadas comúnmente en sistemas con aire invertido.

Existen varios métodos para invertir el flujo a través de los filtros. Como con los filtros de tela limpiados con un sacudidor mecánico, el enfoque más común es tener compartimientos separados dentro del filtro de tela, a manera que cada compartimiento pueda ser aislado y limpiado por separado mientras los otros compartimientos continúan tratando el gas cargado de polvo.

Un método para proporcionar el flujo invertido del aire es por medio del uso de un ventilador secundario o de gas limpio de los otros compartimientos.

La limpieza solo con aire invertido es utilizada únicamente en casos en los que el polvo se desprende fácilmente de la tela. En muchos casos, el aire invertido se utiliza en conjunto con sacudimiento, pulsos o bocinas sónicas.

Las bocinas sónicas se utilizan cada vez más para mejorar la eficiencia de recolección de los filtros de tela limpiados por sacudimiento mecánico o con aire invertido. Las bocinas sónicas utilizan aire comprimido para hacer vibrar un diafragma metálico; que produce una onda sonora de baja frecuencia en la campana de la bocina. El número de bocinas que son requeridas está determinado por la superficie de la tela y el número de compartimientos de la casa de bolsas. Típicamente, son requeridas de 1 a 4 bocinas por compartimiento operando de 150 a 200 hertz. El aire comprimido para las bocinas se suministra de 275 a 620 kilo-Pascales (kPa) (40 a 90 libras por pulgada cuadrada manométricas (psig)). Las bocinas sónicas se activan de 10 a 30 segundos aproximadamente durante cada ciclo de limpieza.

La limpieza con bocinas sónicas reduce significativamente la carga residual de polvo en las bolsas. Esto disminuye de 20 % a 60 % la caída de presión a través del filtro de tela. También, aminora el esfuerzo mecánico que se requiere para limpiar las bolsas, resultando en una vida de operación más

larga. Como se mencionó previamente, esto puede reducir el costo de 1 % a 3 % anualmente.

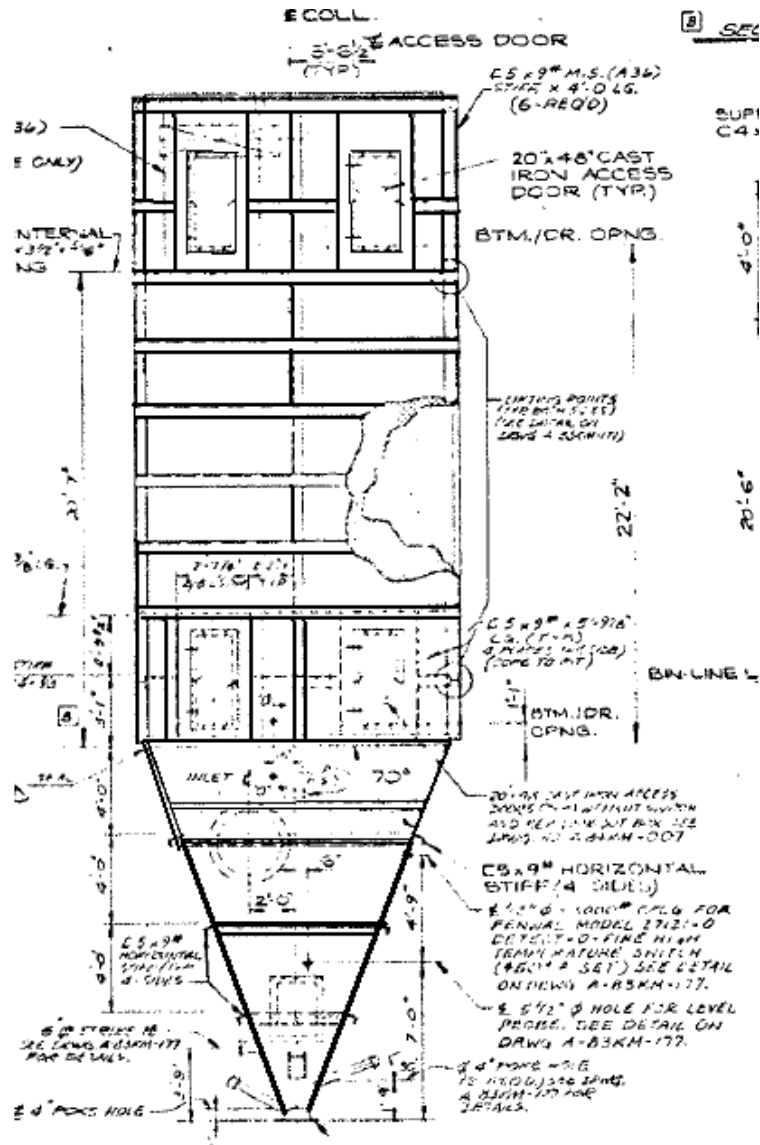
Los compartimientos de las casas de bolsas son fácilmente reconvertidos a bocinas sónicas.

La limpieza con chorro a la inversa es un método desarrollado en los años 1950 para proporcionar una mejor remoción del polvo residual. En este método, el aire a la inversa se conecta por tubería a un anillo alrededor de la bolsa, que cuenta con una ranura angosta. El aire fluye por la ranura, creando una corriente de aire de alta velocidad que flexiona la bolsa en ese punto. El anillo está montado en un transportador accionado por un sistema de motor y cable, que sube y baja por la bolsa. Este método proporciona una limpieza excelente del polvo residual. Debido a su complejidad, los requerimientos de mantenimiento son muy altos. Adicionalmente, el golpe del aire en las bolsas resulta en mayor desgaste. La aplicación de limpieza con chorro a la inversa ha ido disminuyendo.

#### **1.4.1. Descripción de los módulos**

El *baghouse* está compuesto por módulos o cavidades los cuales contienen en su interior 144 bolsas de fibra de vidrio con dimensiones de 8 pulgadas de diámetro por 278 pulgadas de largo; esto se realiza de esta forma para aislar en determinado momento de falla o mantenimiento el filtro para que pueda seguir los demás módulos operando y, por consiguiente, la caldera que es lo más importante.

Figura 3. Forma típica de los módulos de los filtros



Fuente: Industrie elektronik GMBH & CO KG. *Filterwatch D-FW 230 MANUAL*. p. 58.

Las normativas ambientales no permiten operar la caldera si no están en servicio los filtros de ceniza volátil, debido al derrame de ceniza al medio ambiente considerado como un factor de alta contaminación.

#### **1.4.2. Descripción de los calentadores de tolva (*hooperheater*)**

Son resistencias que se utilizan en las tolvas para calentar la ceniza que se está removiendo de los gases de combustión, son ampliamente usados en lugares donde el ambiente es muy frío y provoca que la ceniza se endurezca en la tolva del módulo y ocurra un sistema deficiente en la recolección de ceniza volátil que es el siguiente sistema empleado para desechar la ceniza removida en los gases de combustión.

Este sistema de calentadores de tolva, o mantas térmicas como también es común llamarles, es controlado por interruptores de temperatura que tienen dos rangos de operación y que están calibrados de manera que cuando la temperatura esté debajo de un valor de diseño para la tolva este accione (con un retardo de banda muerta) ponga en servicio las mantas térmicas; este mismo al volver a censar la temperatura adecuada designada por diseño desactive el circuito; dado el caso en que las mantas térmicas no logren llegar a una temperatura adecuada; este mismo micro switch pueda proporcionar al operador una alarma de temperatura baja para actuar de forma prudente ante el aviso.

#### **1.4.3. Descripción del *bypass***

El sistema del Bypass cumple su cometido al ser un ducto que salta de manera total todo el proceso de recuperación de ceniza, pero esto lo realiza por diversas situaciones de peso que se analizan a continuación:

- Protección de presión positiva dentro del hogar de la caldera que podría generar problemas de expansión de la caldera, humos dentro del edificio de calderas e intoxicación al personal que opera la unidad y, por último,

generar un problema grave como una explosión en la caldera; esto sería gravemente dañino para el sistema en general.

- Sirve como medio para realizar chequeos en los compartimientos en caso se tengan problemas con módulos saturados o bolsa de filtrado rotas, circunstancias de emergencias que hacen necesario sacar de servicio el *baghouse* y proceder a realizar los cambios respectivos de bolsas.
- En el caso de que la temperatura de los gases de escape no sea adecuada, se utilizará el *bypass* para desviar estos gases de combustión y no dañar los equipos. Pueden ser estas temperaturas bajas o altas fuera del rango de temperatura de operación del sistema; también, que se esté utilizando un combustible fósil para el precalentamiento de la caldera y no se necesiten recolectores de ceniza.

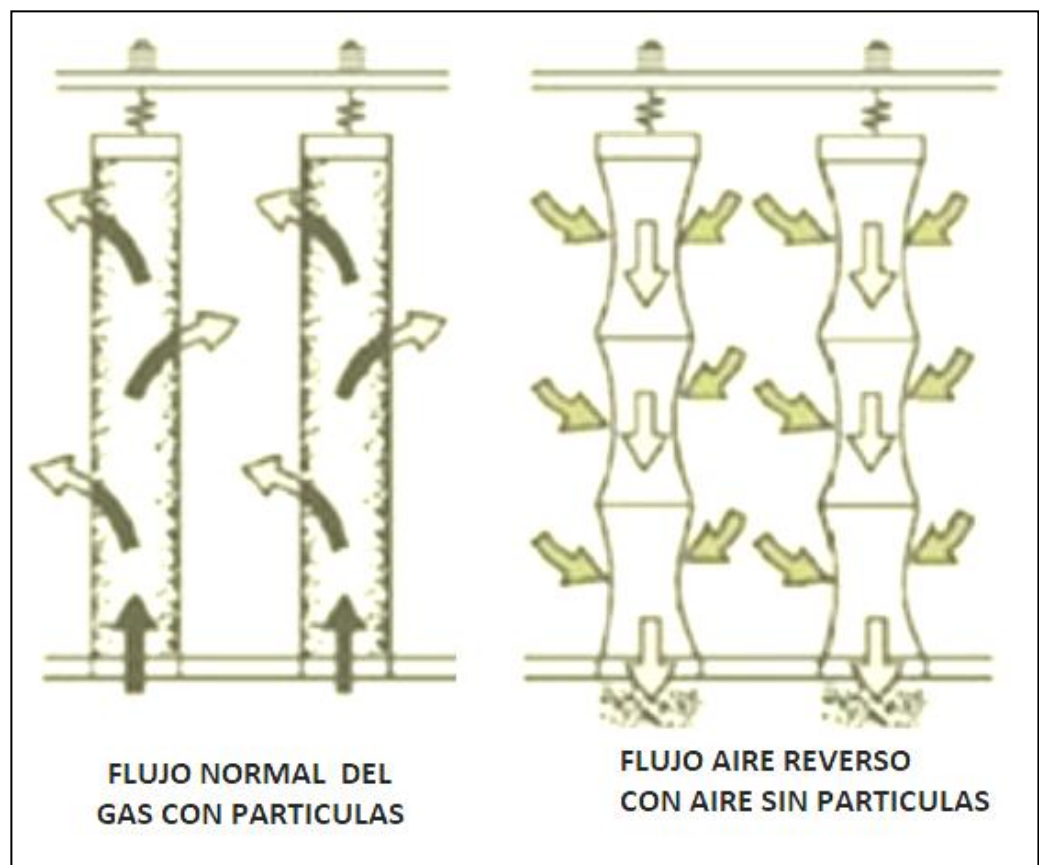
Siempre se deberá tomar en cuenta que el objetivo del *bypass* es tener una alternativa altamente confiable, para que puedan fluir los gases de combustión a la atmósfera y no provocar daños en caldera u otros equipos generando pérdidas cuantiosas.

#### **1.4.4. Funcionalidad del ventilador de aire reverso y su operación**

El aire limpio es suministrado por un ventilador para cada filtro de tela, el ventilador de aire reverso extrae gases limpios de la salida del *baghouse* y lo dirige de regreso al compartimiento de limpieza. El ventilador está situado en el techo de cada filtro de tela.

Este gas se transporta a través de un conducto de salida de gases de escape limpios hacia la chimenea; de este es tomada una porción a través de un ducto que llega al ventilador de aire reverso. El aire es impulsado por el ventilador, fluye directamente dentro del módulo que automáticamente esté seleccionado para realizar su limpieza a través de la apertura de una válvula de aire reverso.

Figura 4. **Dirección de los flujos de aire en el ventilador de aire reverso**



Fuente: Industrie elektronik GMBH & CO KG. *Filterwatch D-FW 230 MANUAL*. p. 58.

El funcionamiento del sistema de aire inverso es controlado por un sistema que tiene lazo de control con la limpieza automática en modo automático y cuando se realiza una limpieza manual por el interruptor de limpieza. Los interruptores de control para el motor de ventiladores son colocados en el panel de control de *baghouse*.

### **1.5. Normativas en el diseño de *baghouse***

Para la implementación de los sistemas *baghouse* o casa de bolsas por ser un equipo que ayuda a mitigar la contaminación ambiental las normas que rigen estos sistemas o que velan por que se lleve a cabo un adecuado funcionamiento es la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA, la encargada de proteger la salud de los humanos y la del medio ambiente.

Con lo relacionado a los *baghouse*, la EPA explica lo siguiente en cuanto a concepto de los sistemas filtrantes de bolsas según la norma EPA 452/B-02-002 en sección 6. Una unidad de filtro de tela consiste de uno o más compartimientos aislados con hileras de bolsas de tela, en la forma de tubos redondos, planos o de cartuchos. El gas cargado de partículas pasa generalmente a lo largo del área de las bolsas y luego radialmente a través de la tela. Las partículas son retenidas en la cara de las bolsas corriente arriba y el gas limpio es ventilado hacia la atmósfera. El filtro es operado cíclicamente, alternando entre períodos de filtrado relativamente largo y períodos cortos de limpieza.

Durante la limpieza el polvo que se acumuló sobre las bolsas es removido del área de la tela y depositado en una tolva para su disposición posterior.



Los filtros de tela recolectan partículas de tamaños que van desde las micras hasta varios cientos de micras de diámetro, con eficiencias generalmente en exceso al 99 o 99,9 %. La capa de polvo o plasta recolectada sobre la tela es la razón principal de esta alta eficiencia. La plasta es una barrera con poros tortuosos que atrapan a las partículas a medida que viajan por la plasta.

En algunas configuraciones pueden acomodarse rutinariamente temperaturas de gas hasta cerca de 500 °F con picos de 550 °F. La mayor parte de la energía utilizada para operar el sistema aparece como caída de presión a través de las bolsas y conductos asociados. Los valores típicos de la caída de presión del sistema varía desde cerca de 5 hasta 20 pulgadas de agua. Los filtros de tela se utilizan donde se requiere una alta eficiencia de recolección de partículas. Se imponen limitaciones por las características del gas (temperatura, corrosión) por características de las partículas. Principalmente, la adhesividad que afectan la tela y que no pueden ser tomadas en cuenta económicamente.

Las variables importantes del proceso incluyen las características de la partícula, las características del gas y las propiedades de la tela. El parámetro de diseño más importante es la relación aire, gas, tela (la cantidad de gas en pies cúbicos por minuto que penetra un pie cuadrado de tela); el parámetro de operación de interés, por lo general, es la caída de presión a través del sistema de filtro. La característica de operación principal de los filtros de tela que los distingue de otros filtros de gas es la capacidad de renovar la superficie de filtración periódicamente por medio de limpiezas.

En esta ocasión se centrará únicamente en los que son conocidos como aire a la inversa, cuando las telas de fibra de vidrio fueron introducidas; se necesitó un medio más suave para limpiar las bolsas, que pueden ser de un pie

de diámetro y 30 pies de longitud para prevenir la degradación prematura. La limpieza por aire inverso fue desarrollada como una manera menos intensiva de impartir energía a las bolsas. En la limpieza por medio de aire a la inversa, el flujo de gas hacia las bolsas es interrumpido en el compartimiento que está siendo limpiado; un flujo a la inversa (de afuera hacia adentro) es dirigido a través de las bolsas. Este revés del flujo de gas pliega la bolsa suavemente hacia sus líneas centrales, lo que causa que la plasta se desprenda del área de tela. El desprendimiento es causado por fuerzas tipo tijera desarrolladas entre el polvo y la tela a medida que esta última cambia su forma. Las tapas metálicas para sostener la parte superior de las bolsas son una parte integral de la bolsa como lo son varios anillos cosidos que rodean las bolsas para prevenir su colapso completo durante la limpieza.

La clave para diseñar una casa de bolsas es determinar la velocidad superficial que produce el equilibrio óptimo entre la caída de presión (el costo de operación que aumenta a medida que la caída de presión aumenta) y el tamaño de la casa de bolsas (el costo de capital que disminuye a medida que el tamaño de la casa de bolsas se reduce). El tamaño de la casa de bolsas se reduce a medida que la velocidad superficial aumenta. Sin embargo, las relaciones gas-tela más altas causan mayores caídas de presión.

Las casas de bolsas son particularmente efectivas para recolectar partículas pequeñas. Debido a que se supone una alta eficiencia, el proceso de diseño se enfoca sobre la caída de presión.

La construcción de una casa de bolsas inicia con un grupo de especificaciones que incluye la caída de presión total, el flujo total de gas y otros requisitos; también, pudiera especificarse una caída de presión máxima. De acuerdo a estas especificaciones, el diseñador debe determinar la velocidad superficial máxima que puede llenar estos requisitos.

## **2. OPERATIVA DE LOS FILTROS TIPO BOLSA PARA GENERADORAS ELÉCTRICAS**

La captación del material en partículas de los gases de combustión requiere un proceso sistemático, automatizado y agudizado con la comprensión total de los elementos involucrados para su adecuado funcionamiento, para tener el plano general de los sucesos aguas arriba y aguas abajo del proceso.

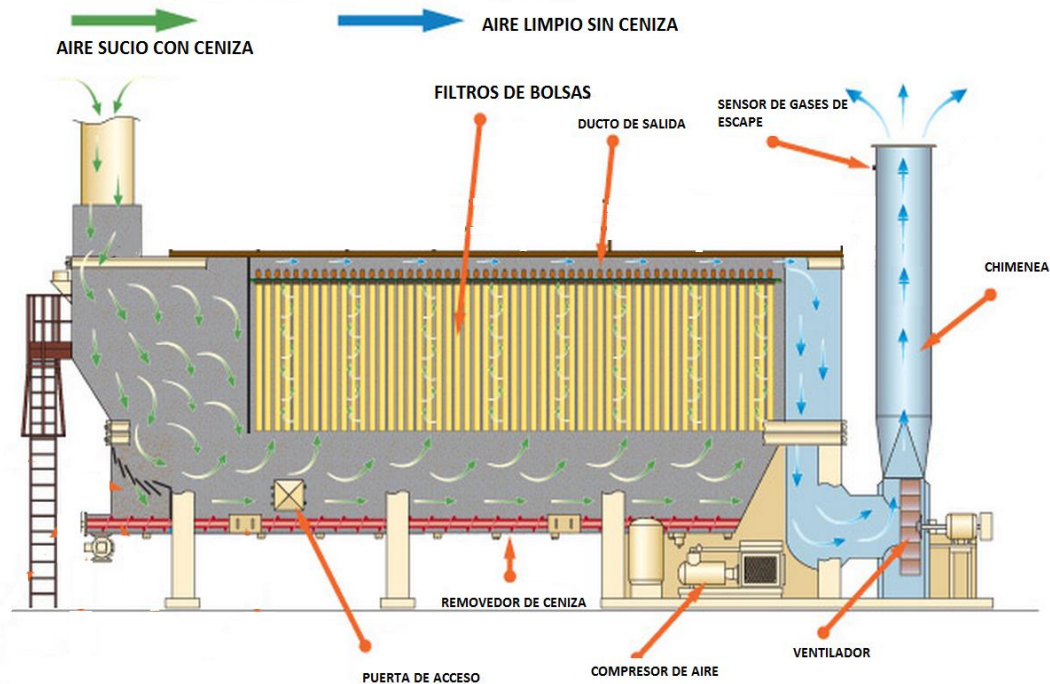
### **2.1. Descripción de la operación del *baghouse***

El sistema cuenta con una considerable cantidad de equipos y funciones, diseñado para opera de forma automatizada con un funcionamiento eficiente y amigable con el operador; las tres modalidades de funcionamiento:

- Limpieza de forma continua
- Limpieza por tiempo
- Limpieza por presión diferencial

Al entrar en operación la caldera con carbón mineral pulverizado se describe porque en el arranque la caldera se inicia operando con otro tipo de combustible y su operación durante el arranque no genera ceniza volátil de consideración como el carbón mineral.

Figura 5. Flujo de gases dentro de los filtros



Fuente: Industrie elektronik GMBH & CO KG. *Filterwatch D-FW 230 MANUAL*. p. 58.

Cuando el proceso opera con carbón mineral, el operador determina poner en funcionamiento el sistema de bolsas; al ponerlo en servicio, el programador lógico programable (PLC) identifica la temperatura de los gases y lo hace a través de un sensor de temperatura con un rango de operación de -196 °C a 600 °C con un tiempo de respuesta de 9 segundos; la constitución de este sensor es la unión de dos metales diferentes, lo cual produce un cambio de voltaje en relación a los cambios de temperatura; da así la medición de temperatura adecuada de operación del sistema tanto si es baja la temperatura

como si pasa los límites de temperatura que soportan los materiales del filtro; a esto se le llama rango de operación de temperatura del sistema y se define según los materiales del el filtro.

Instalado en un punto donde pueda detectar con prontitud la temperatura de los gases, tiene una retroalimentación continua al PLC (Allen Bradley del tipo Logix 5000). Este contiene módulos de entradas analógicas y digitales así como los módulos de salida analógicas y digitales para los diferentes instrumentos del sistema; cuando esta temperatura demuestre estar en el rango de operación, accionada la apertura de las compuertas de entrada y de salida.

Anticipado a esto, el operador de los filtros debe estar enterado que se pondrá en servicio el sistema de filtros para cumplir con las siguientes condiciones:

- Definir el modo de operación que según su criterio es el más adecuado.
- Chequear el correcto funcionamiento de cada una de las compuertas de los módulos que dispone para poner en servicio.
- Chequear todas las señales de retroalimentación de los instrumentos.
- Cerciorarse del correcto funcionamiento de los equipos auxiliares como la presión de aire en el sistema neumático, la alimentación eléctrica de los paneles y compuertas de acceso a los módulos debidamente cerrados.

Cuando el programa identifica las condiciones de operación seleccionadas, el correcto funcionamiento de las variables de cada uno de los módulos puesto en servicio, apertura la compuerta.

La programación del PLC contiene instrucciones que verifican todas las condiciones de seguridad y disponibilidad de operación. Dentro de las condiciones que verifica están: suministro de energía eléctrica de motores, energización de paneles de control, calentadores de tolva encendidos, temperatura de gases de entrada al sistema en el rango adecuado de operación (300 °F - 550 °F). También, realiza un barrido de las presiones diferenciales del sistema esto con el objetivo de cerciorarse que por un mal funcionamiento el filtro no esté operando adecuadamente y genere un tapón en el flujo de gases, lo que sería un serio problema para la caldera.

Confirmación de cierre de los switch de compuertas para que ninguna de las puertas de acceso a los módulos esté abierta. Confirmaciones de aperturas o cierres de válvulas de entrada a los módulos, válvulas de salida y válvulas de entradas de aire reverso.

Luego de que el PLC tenga todas las configuraciones requeridas por el programa, apertura de primera mano la compuerta de salida de gases limpios, segundos después abre compuertas de acceso a los módulos. También, apertura la compuerta donde salen los gases que ya no contienen ceniza; el sistema genera una presión negativa a través del ventilador de tiro inducido hasta el hogar de la caldera, lo que causa extracción de los gases de combustión y que arrastre también la ceniza que estos llevan consigo.

Al generar la presión negativa dentro del rango de los 24 a 27 pulgadas de mercurio (inHg), el flujo en el sistema hace que los gases de escape junto con

la ceniza ingresen en el *baghouse* por la parte inferior del módulo; luego, choca este flujo con las bolsas que detienen la ceniza; solo permite el paso de los gases y no de la ceniza.

Luego que los gases salen de las bolsas por la misma presión negativa del sistema, son direccionados a través de la válvula de salida de gases de escape que los direcciona al ducto que recolecta todo el gas de los demás módulos y van a la chimenea para luego ser expulsados a la atmósfera.

El paso continuo de estos gases en la tela de las bolsas genera una capa de ceniza que a medida que se incrementa reduce el flujo de los gases por la misma; por lo que es preciso realizar una limpieza a todo el módulo, de ahí que a continuación se describa la operación de los tres modos de limpieza.

### **2.1.1. Modo de operación continuo**

Se denomina de esta manera por que la limpieza se desarrolla de forma sistemática y sin ninguna interrupción dando inicio la limpieza desde el módulo No. 1 luego No. 2 y así sucesivamente hasta regresar de nuevo en el ciclo de limpieza.

El PLC bloquea el módulo donde realizará la limpieza cierra la válvula de ingreso de humo luego de 5 segundos; cierra la válvula de salida de gases sin ceniza y apertura la válvula de entrada de aire de limpieza al módulo; acciona el ventilador de aire de limpieza.

Se presuriza el ducto de aire reverso con una presión 11 inH<sub>2</sub>O, el sensor de presión confirma al PLC y este a su vez apertura la válvula de aire reverso para que realice la limpieza dentro del módulo; este genera turbulencia en la

cavidad del módulo lo que hace que las bolsas de filtrado de ceniza desprendan la ceniza que tienen adherida a sus paredes y la ceniza se precipita hacia la tolva, donde es recogida por el sistema de vacío que opera con 8-10 inhg al remover la ceniza de las bolsas; se filtran mejor los gases de combustión.

Luego que se realiza la secuencia de limpieza del módulo, se apertura las válvulas de entrada de gases con ceniza y la válvula de gases filtrados, mientras que la válvula de aire reverso se mantiene cerrada.

Se continua con la limpieza de los siguientes ocho módulos o cuantos módulos contenga el sistema por diseño, cuando la secuencia es seleccionada por modo continuo se desarrolla la limpieza sin ninguna parada hasta que el operador desee cambiar el modo de limpieza o el sistema salga de línea por alguna causa.

### **2.1.2. Modo de operación por tiempo**

Es una secuencia de limpieza en la que se determina y se designa tiempo de limpieza al módulo; esto opera así debido a que en ocasiones el flujo de gases es constante y contiene por mucho tiempo la misma cantidad de ceniza o material particulado; por lo tanto, el operador con experiencia sabe con exactitud cuánto tiempo es necesario para realizar la limpieza de cada módulo y no esperar un tiempo promedio que el PLC ha designado.

La limpieza que realiza el sistema es la misma descrita con anterioridad, lo que se modifica en esta operación es el tiempo en el que el módulo será sometido a limpieza; por ejemplo: si en el modo normal o continuo la limpieza se realiza en un tiempo definido de 120 segundos, pero el operador observa que no es necesario tanto tiempo para que el módulo se limpie, puede reducir

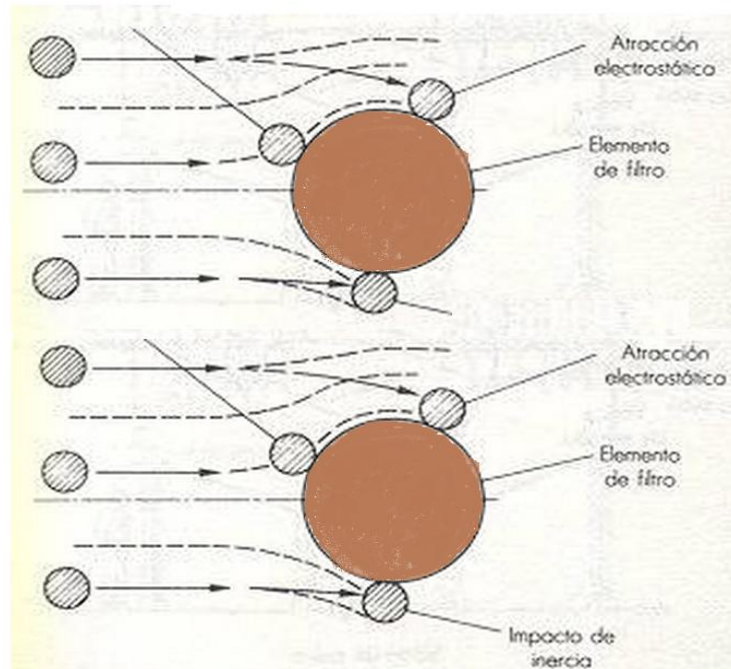


este tiempo a 60 segundos; o pudiera ocurrir el caso contrario, que el operador notara que 120 segundos no son suficientes para realizar la remoción de ceniza en las bolsas y se vea en la necesidad de ampliar el ciclo de limpieza al doble de tiempo establecido: 240 segundos; por este motivo, el diseño contempla este tiempo de ajuste; cuanto más tiempo pasa el operador manipulando el equipo mejor puede manejar los ciclos de limpieza.

### **2.1.3. Modo de operación por presión diferencial**

Cuando el material particulado hace impacto con las fibras de tela de cada una de las bolsas, esta ceniza queda retenida por la misma ceniza dentro del flujo haciendo que se forme una costra (plasta de ceniza); esta costra, a su vez, genera un mejor sistema de filtración; pero llega el momento que reduce el flujo laminar de los gases de escape; el trabajo a realizar por el ventilador de tiro inducido se incrementa y el flujo de gases se reduce de una forma muy drástica. Tomando esto en cuenta, el diseño de los filtros incluye un modo de operación que detecta que filtro o módulo de bolsas posee un alto diferencial de presión.

Figura 6. **Material particulado adherido a las fibras de la tela**



Fuente: Industrie elektronik GMBH & CO KG. *Filterwatch D-FW 230 MANUAL*. p. 58.

De un lado de las bolsas esta una presión negativa menor por la obstrucción de la ceniza; luego de pasar por las bolsas, esta succión negativa aumenta con una magnitud abajo de las 5 pulgadas de mercurio; esto hace que sea necesaria la instalación de un transmisor de presión diferencial calibrado en un rango 0-10 pulgadas de mercurio.

El PLC verifica la señal análoga de 4 a 20 miliamperios; si la señal está entre 15 o 20 miliamperios, activa una bit dentro de la programación y activa la secuencia de limpieza para este módulo; conforme los módulos requieran limpieza, tienen una programación tipo fila; el que indique una presión diferencial alta, es el siguiente en la fila para realizar la limpieza.

#### **2.1.4. Modo de operación para mantenimiento**

El enfoque de este tipo en particular de operación surge por motivos directamente de mantenimiento o falla en alguno de los módulos ya sea por fallas en las válvulas de apertura y cierre, ruptura de alguna bolsa dentro del módulo o simplemente por inspección del módulo; cuando el operador selecciona este modo de operación, el PLC automáticamente aísla de operación y limpieza; el compartimiento que previamente se seleccionó como en modo de mantenimiento o fuera de línea, lo que en líneas de programación genera en el PLC una operación continua de limpieza en los demás módulos, menos en este que se dejó fuera de operación.

Cuando esto sucede se cierran todas las válvulas del compartimiento para que se pueda acceder al mismo es posible; dejar hasta dos módulos fuera y el sistema funciona de forma adecuada; si ocurre un problema en un tercer módulo, el PLC saca de línea todo el *baghouse* y entra a funcionar el sistema que se llama *bypass*, que da un libre paso a la ceniza que llevan los gases de escape, lo cual en la mayoría de los casos es penalizado por las normativas del medio ambiente.

#### **2.2. Descripción de operación a través del *bypass***

El *bypass* es un ducto que salta todo el proceso de filtración de los gases de escape, este modo de operación puede ser activado por varias razones.

- pueda ser que ocurra un problema en los módulos del *baghouse* y se encuentren saturados de ceniza lo que da paso a que los gases de escape de la caldera no puedan ser extraídos y la caldera empiece a ganar presión positiva, lo que generaría problemas fatales para la caldera

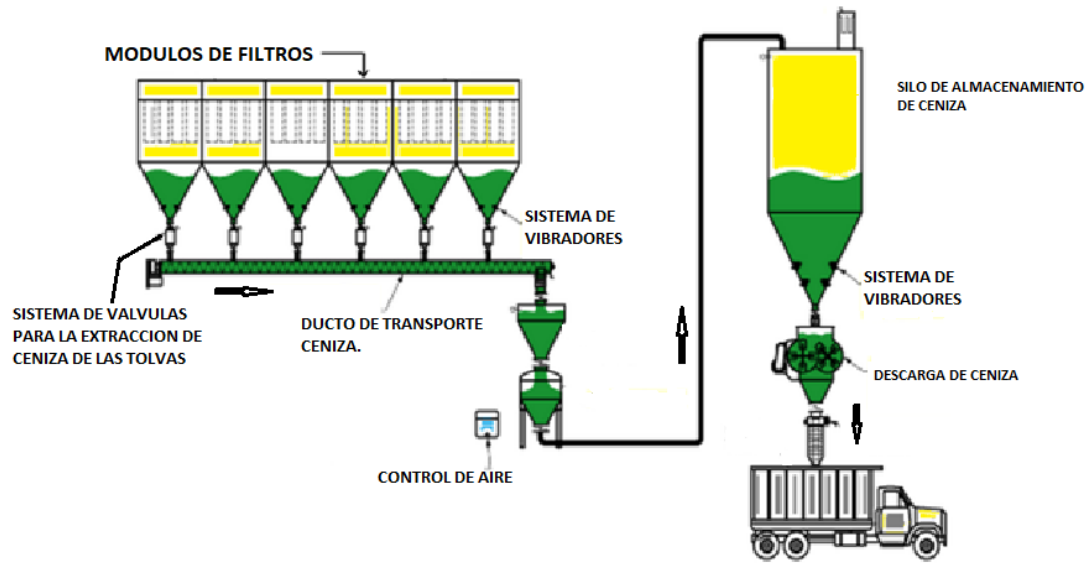
y sus operadores; por lo que de ninguna manera se puede obstruir el flujo de gases de combustión de la caldera; dando esto paso a que se utilice el ducto de *bypass*.

- Otra razón, es cuando la temperatura de los gases de escape sobrepasan la temperatura de soporte de las fibras de las bolsas; el sensor de temperatura que está en la entrada de los módulos detecta esto; se activa una alarma para que estos gases de combustión de alta temperatura salgan por el *bypass* y no pasen a través de las bolsas.
- Cualquier inconveniente en la operación del *baghouse* que genera riesgos en la operación de la caldera hará que se aperture el *bypass* dando una vía alternativa para que continúe el flujo de los gases de escape y no ponga en riesgo la vida de las personas en la caldera, también, daños en esta.

### **2.3. Vinculación del *baghouse* con el recolector de ceniza volátil**

El sistema recolector de ceniza volátil, o en inglés *fly ash*, es el medio que se utiliza para extraer la ceniza que se retira de los gases de escape la cuál se precipita en las tolvas de los módulos del sistema de bolsas; depositada en las tolvas se puede utilizar un sistema de tuberías que funcionan a base de succión o presión negativa que extrae la ceniza la conduce por las tuberías y la deposita en un silo para luego trasladarla en camiones y sacarla de las plantas generadoras.

Figura 7. Sistema recolector de ceniza volátil



Fuente: Industrie elektronik GMBH & CO KG. *Filterwatch D-FW 230 MANUAL*. p. 58.



### **3. AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO TIPO BOLSAS**

Automatización es la aplicación de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, máquina, aparato o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas; hace que opere automáticamente, reduce al mínimo la intervención humana.

#### **3.1. Control y automatización del proceso de funcionamiento de filtros tipo bolsa**

La automatización industrial es posible gracias a la unión de distintas tecnologías, como la instrumentación; esta permite medir las variables de la materia en sus diferentes estados, gases, sólidos y líquidos; la neumática, los servos y los motores son los encargados del movimiento; ayudan a realizar esfuerzos físicos; los sensores indican lo que está sucediendo con el proceso, donde se encuentra en un momento determinado activar las válvulas y motores.

Los sistemas de comunicación enlazan todas las partes; los controladores lógicos programables, o por sus siglas PLC, se encargan de controlar que todo tenga una secuencia; toma decisiones de acuerdo a una programación establecida; se encarga de que el proceso cumpla con una repetición para lo cual se analizarán las variables que el PLC ve para realizar un control adecuado del proceso.

### **3.1.1. Selección de variables a analizar por el PLC**

Variable es toda aquella respuesta que tiene un rango de operación y que la mayor parte del tiempo no es constante pero que actúa en un margen de operación establecido por el proceso y que esta sirve como medición de los resultados de la función completa del proceso; dentro de lo que corresponde la automatización de casa de bolsas, hay un listado de variables que influyen en el funcionamiento adecuado de los filtros; estas se pueden clasificar en dos grupos:

- Análogas
- Digitales

Una de las variables necesarias para el control de los filtros es la temperatura de gases, actúa en el rango de los 300 °F – 550 °F, producto de las altas temperatura en el hogar de la caldera; esta variable cobra relevancia por dos razones: cuando se tiene una temperatura muy baja, los gases de escape se condensan y da paso a la acumulación de líquidos ácidos dentro de los filtros, que perjudica los equipos y las bolsas filtrantes; la segunda, si sobrepasa este rango de temperatura hace que las bolsas filtrantes se perjudiquen totalmente.

La temperatura es una variable del tipo continuo esto lo está monitoreado por el PLC de forma continua a través de su módulo de entradas del tipo analógico.

Otra variable con un comportamiento analógico es el aire de instrumentación; es de vital interés para el apropiado funcionamiento de los equipos que lo utilizan como su fuerza motriz, para tener información continua



de la presión del aire; se instala un transmisor de presión con un rango de operación y comunicación de analogía al PLC en señal continua de 4-20 miliamperios.

Si el sistema tiene baja presión no operara con la velocidad adecuada y el PLC lo toma como acciones no realizadas, lo que provoca una alarma o falla dentro de la programación; como esta fuerza mecánica actúa en todo el sistema, al operar más válvulas incrementa la demanda de aire; esto puede suceder si no se dimensiona de forma adecuada el suministro de aire de instrumentación; puede ser el caso en el que se dé fuga de aire en el sistema; si no se cuenta con este transmisor, el programa entrará en un ciclo desviando la operación por otro rumbo y el problema de la no operación adecuada es la falta de presión en la línea de alimentación; el transmisor debe monitorear constantemente la presión dentro de un rango 75-105 PSI.

Variables digitales en este particular, su operación solo remite a dos acciones binarias; otra forma de interpretación es cerrada o abierta que en su mayoría es el comportamiento de las válvulas neumáticas o motorizadas que en cada uno de los módulos se cuenta con una de acceso al módulo tipo mariposa de alrededor de 36 pulgadas de diámetro marca BRAY, dos válvulas de cilindro neumático de 46 cm controlados por electroválvulas marca ASCO de 5 vías con solenoide de 120 VAC, dos compuertas motorizadas tipo guillotina con motor eléctrico de 3/4 hp activado con un relé de 120 VAC lo que se traduce en señales de 0 y 120 VAC en el PLC con su módulo de señales digitales ControlLogix 1756-IA32 o 1756OA16 para las señales analógicas 1756-IV32 como lo muestra el listado de señales descrito a continuación :

Tabla I. Listado de señales en programa de PLC del filtro

Alias	Descripción	Card Type	INPUT/OUTPUT TYPE
_042.05	OPEN_CLOSE_INLET_OUTLET_MANIFOLD_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_042.04	MALFUNCTION_INTERNAL_LOCATION_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_042.03	MAINTENANCE_MODE_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_042.02	DIFF_PRESSURE_CLEANING_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_042.01	TIMING_CLEANING_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_042.00	AUTO_CLEANING_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_041.5	INLET_TEMP_MONITOR_IS_OK_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_041.4	INITIATE_LO_TEMP_BYPASS_ALARM_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_041.3	INLET_TEMP_HI_ALARM_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_041.2	TOO_FEW_MODULES_OPERABLE_ALARM_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_041.1	DOOR_OPEN_ALARM_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_041.0	GENERAL_DAMPER_ALARM_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.15	MODULE_8_DOOR_OPEN_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.14	MODULE_8_CLEANING_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.13	MODULE_8_ON_LINE_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.12	MODULE_8_INLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.11	MODULE_8_OUTLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.10	MODULE_8_REVERSE_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.5	MODULE_7_DOOR_OPEN_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.4	MODULE_7_CLEANING_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.3	MODULE_7_ON_LINE_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.2	MODULE_7_INLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.1	MODULE_7_OUTLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_037.0	MODULE_7_REVERSE_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.15	MODULE_6_DOOR_OPEN_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.14	MODULE_6_CLEANING_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.13	MODULE_6_ON_LINE_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.12	MODULE_6_INLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.11	MODULE_6_OUTLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.10	MODULE_6_REVERSE_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.4	MODULE_5_CLEANING_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.3	MODULE_5_ON_LINE_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.2	MODULE_5_INLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.1	MODULE_5_OUTLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_036.0	MODULE_5_REVERSE_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_622 (+)	OUTLET_TEMP_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_621 (+)	INLET_TEMP_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_620 (+)	SYSTEM_DIFF_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_617 (+)	MODULE_8_DIFF_PRESS_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_616 (+)	MODULE_7_DIFF_PRESS_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_615 (+)	MODULE_6_DIFF_PRESS_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_614 (+)	MODULE_5_DIFF_PRESS_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_613 (+)	MODULE_4_DIFF_PRESS_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_612 (+)	MODULE_3_DIFF_PRESS_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_611 (+)	MODULE_6_DIFF_PRESS_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_610 (+)	MODULE_1_DIFF_PRESS_ANALOG_STORE (+)	1756-IF16	CURRENT/VOLTAGE ANALOG INPUT
_035.15	MODULE_4_DOOR_OPEN_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.14	MODULE_4_CLEANING_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.13	MODULE_4_ON_LINE_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.12	MODULE_4_INLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.11	MODULE_4_OUTLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.10	MODULE_4_REVERSE_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.5	MODULE_3_DOOR_OPEN_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.4	MODULE_3_CLEANING_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.3	MODULE_3_ON_LINE_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.2	MODULE_3_INLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.1	MODULE_3_OUTLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_035.0	MODULE_3_REVERSE_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.15	MODULE_6_DOOR_OPEN_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.14	MODULE_6_CLEANING_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.13	MODULE_6_ON_LINE_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.12	MODULE_6_INLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.11	MODULE_6_OUTLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.10	MODULE_6_REVERSE_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.5	MODULE_1_DOOR_OPEN_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.4	MODULE_1_CLEANING_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.3	MODULE_1_ON_LINE_LIGHT	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.2	MODULE_1_INLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
_034.1	MODULE_1_OUTLET_DAMPER_OPEN_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT

Continuación de la tabla I.

<i>034.0</i>	<i>MODULE_1_REVERSE_DAMPER_OPEN_SOL</i>	<i>1756-OW16I</i>	<i>ISO RELAY OUTPUT</i>
<i>_033.15</i>	CLEANING_CYCLE_MALFUNCTION	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_033.14</i>	DIFF_PRESSURE_HI	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_033.13</i>	INLET_TEMP_HI	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_033.11</i>	SYSTEM_OPERATION_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_033.10</i>	SHUTDOWN_IS_IN_PROGRESS_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_033.5</i>	REVERSE_AIR_FAN_STOPPED_PL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_033.4</i>	ALARM_HORN	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_033.3</i>	REVERSE_AIR_BYPASS_DAMPER_CLOSE_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_033.2</i>	BYPASS_DAMPER_CLOSE_SOL	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_033.1</i>	REVERSE_AIR_FAN_START	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_033.0</i>	BYPASS_AIR_BLOWER_START	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_032.15</i>	OUTLET_DAMPER_OPEN_START	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_032.14</i>	OUTLET_DAMPER_CLOSE_START	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_032.13</i>	OUTLET_DAMPER_BLOWER_START	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_032.12</i>	INLET_DAMPER_OPEN_START	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_032.11</i>	INLET_DAMPER_CLOSED_START	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_032.10</i>	INLET_DAMPER_BLOWER_START	1756-OW16I	ISO RELAY OUTPUT
<i>_132.0</i>	INITIATE_CLEAN_CYCLE_FOR_MAINTENANCE_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_131.12</i>	RESET_RESTART_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_131.11</i>	INDUCED_AIR_FAN_Z_SPEED	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_131.10</i>	REVERSE_AIR_FAN_Z_SPEED	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_131.5</i>	POWER_ON_ESTOP_IS_OK	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_131.4</i>	BYPASS_SWITCH_MANUAL	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_131.3</i>	REMOTE_CONTROL_SELECTOR	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_131.2</i>	AUTO_STOP_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_131.1</i>	AUTO_START_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_131.0</i>	START_CLEANING_CYCLE_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.15</i>	MAINT_SELECTED_SS	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.14</i>	DIFF_PRESSURE_CLEANING_CYCLE_SS	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.13</i>	TIMING_CLEANING_CYCLE_SS	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.12</i>	AUTO_CLEANING_CYCLE_SS	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.11</i>	HORN_SILENCE_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.10</i>	REVERSE_AIR_FAN_STOP_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.5</i>	REVERSE_AIR_FAN_START_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.4</i>	BYPASS_DUCT_DAMPER_CLOSE_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.3</i>	BYPASS_DUCT_DAMPER_OPEN_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.2</i>	OUTLET_MANUAL_DAMPER_CLOSE_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.1</i>	OUTLET_MANUAL_DAMPER_OPEN_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_130.0</i>	INLET_MANUAL_DAMPER_CLOSE_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.15</i>	MODULE_8_HOPPER_LO_TEMPERATURE	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.14</i>	MODULE_8_HOPPER_HI_TEMPERATURE	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.13</i>	MODULE_8_BROKEN_BAG	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.12</i>	MODULE_8_INLET_DAMPER_CLOSED_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.11</i>	MODULE_8_INLET_DAMPER_OPEN_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.10</i>	MODULE_8_OUTLET_DAMPER_CLOSE_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.5</i>	MODULE_8_OUTLET_DAMPER_OPEN_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.4</i>	MODULE_8_REVERSE_DAMPER_CLOSED_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.3</i>	MODULE_8_REVERSE_DAMPER_OPEN_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.2</i>	MODULE_8_COMP_ISOLATED	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.1</i>	MODULE_8_DOOR_OPEN	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_127.0</i>	MODULE_8_INLET_DAMPER_OPEN	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.15</i>	MODULE_8_INLET_DAMPER_CLOSED	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.14</i>	MODULE_8_OUTLET_DAMPER_OPEN	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.13</i>	MODULE_8_OUTLET_DAMPER_CLOSED	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.12</i>	MODULE_8_REVERSE_DAMPER_OPEN	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.11</i>	MODULE_8_REVERSE_DAMPER_CLOSED	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.10</i>	MODULE_8_HOPPER_HI_LEVEL	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.5</i>	MODULE_7_HOPPER_LO_TEMPERATURE	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.4</i>	MODULE_7_HOPPER_HI_TEMPERATURE	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.3</i>	MODULE_7_BROKEN_BAG	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.2</i>	MODULE_7_INLET_DAMPER_CLOSED_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.1</i>	MODULE_7_INLET_DAMPER_OPEN_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_124.0</i>	MODULE_7_OUTLET_DAMPER_CLOSE_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_123.15</i>	MODULE_7_OUTLET_DAMPER_OPEN_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_123.14</i>	MODULE_7_REVERSE_DAMPER_CLOSED_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_123.13</i>	MODULE_7_REVERSE_DAMPER_OPEN_PB	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_123.12</i>	MODULE_7_COMP_ISOLATED	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_123.11</i>	MODULE_7_DOOR_OPEN	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT
<i>_123.10</i>	MODULE_7_INLET_DAMPER_OPEN	1756-IA32/A	74-132VAC DISCRETE INPUT

Continuación de la tabla I.

<i>_123.5</i>	<i>MODULE_7_INLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_123.4</i>	<i>MODULE_7_OUTLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_123.3</i>	<i>MODULE_7_OUTLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_123.2</i>	<i>MODULE_7_REVERSE_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_123.1</i>	<i>MODULE_7_REVERSE_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_123.0</i>	<i>MODULE_7_HOPPER_HI_LEVEL</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.15</i>	<i>MODULE_6_HOPPER_LO_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.0</i>	<i>MODULE_1_HOPPER_HI_LEVEL</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.1</i>	<i>MODULE_1_REVERSE_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.2</i>	<i>MODULE_1_REVERSE_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.3</i>	<i>MODULE_1_OUTLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.4</i>	<i>MODULE_1_OUTLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.5</i>	<i>MODULE_1_INLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.10</i>	<i>MODULE_1_INLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.11</i>	<i>MODULE_1_DOOR_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.12</i>	<i>MODULE_1_COMP_ISOLATED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.13</i>	<i>MODULE_1_REVERSE_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.14</i>	<i>MODULE_1_REVERSE_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_110.15</i>	<i>MODULE_1_OUTLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.0</i>	<i>MODULE_1_OUTLET_DAMPER_CLOSE_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.1</i>	<i>MODULE_1_INLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.2</i>	<i>MODULE_1_INLET_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.3</i>	<i>MODULE_1_BROKEN_BAG</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.4</i>	<i>MODULE_1_HOPPER_HI_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.5</i>	<i>MODULE_1_HOPPER_LO_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.10</i>	<i>MODULE_6_HOPPER_HI_LEVEL</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.11</i>	<i>MODULE_6_REVERSE_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.12</i>	<i>MODULE_6_REVERSE_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.13</i>	<i>MODULE_6_OUTLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.14</i>	<i>MODULE_6_OUTLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_111.15</i>	<i>MODULE_6_INLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.0</i>	<i>MODULE_6_INLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.1</i>	<i>MODULE_6_DOOR_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.2</i>	<i>MODULE_6_COMP_ISOLATED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.3</i>	<i>MODULE_6_REVERSE_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.4</i>	<i>MODULE_6_REVERSE_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.5</i>	<i>MODULE_6_OUTLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.10</i>	<i>MODULE_6_OUTLET_DAMPER_CLOSE_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.11</i>	<i>MODULE_6_INLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.12</i>	<i>MODULE_6_INLET_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.13</i>	<i>MODULE_6_BROKEN_BAG</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.14</i>	<i>MODULE_6_HOPPER_HI_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_112.15</i>	<i>MODULE_6_HOPPER_LO_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.0</i>	<i>MODULE_3_HOPPER_HI_LEVEL</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.1</i>	<i>MODULE_3_REVERSE_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.2</i>	<i>MODULE_3_REVERSE_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.3</i>	<i>MODULE_3_OUTLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.4</i>	<i>MODULE_3_OUTLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.5</i>	<i>MODULE_3_INLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.10</i>	<i>MODULE_3_INLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.11</i>	<i>MODULE_3_DOOR_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.12</i>	<i>MODULE_3_COMP_ISOLATED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.13</i>	<i>MODULE_3_REVERSE_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.14</i>	<i>MODULE_3_REVERSE_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_113.15</i>	<i>MODULE_3_OUTLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.0</i>	<i>MODULE_3_OUTLET_DAMPER_CLOSE_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.1</i>	<i>MODULE_3_INLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.2</i>	<i>MODULE_3_INLET_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.3</i>	<i>MODULE_3_BROKEN_BAG</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.4</i>	<i>MODULE_3_HOPPER_HI_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.5</i>	<i>MODULE_3_HOPPER_LO_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.10</i>	<i>MODULE_4_HOPPER_HI_LEVEL</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.11</i>	<i>MODULE_4_REVERSE_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.12</i>	<i>MODULE_4_REVERSE_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.13</i>	<i>MODULE_4_OUTLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.14</i>	<i>MODULE_4_OUTLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_114.15</i>	<i>MODULE_4_INLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.0</i>	<i>MODULE_4_INLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.1</i>	<i>MODULE_4_DOOR_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.2</i>	<i>MODULE_4_COMP_ISOLATED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>

Continuación de la tabla I.

<i>_115.3</i>	<i>MODULE_4_REVERSE_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.4</i>	<i>MODULE_4_REVERSE_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.5</i>	<i>MODULE_4_OUTLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.10</i>	<i>MODULE_4_OUTLET_DAMPER_CLOSE_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.11</i>	<i>MODULE_4_INLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.12</i>	<i>MODULE_4_INLET_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.13</i>	<i>MODULE_4_BROKEN_BAG</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.14</i>	<i>MODULE_4_HOPPER_HI_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_115.15</i>	<i>MODULE_4_HOPPER_LO_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_116.0</i>	<i>INLET_SEAL_AIR_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_116.1</i>	<i>OUTLET_SEAL_AIR_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_116.2</i>	<i>BYPASS_SEAL_AIR_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_116.3</i>	<i>BYPASS_DUCT_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_116.4</i>	<i>BYPASS_DUCT_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_116.5</i>	<i>INLET_DUCT_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_116.10</i>	<i>INLET_DUCT_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_116.11</i>	<i>REVERSE_AIR_FAN_OUTLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_116.13</i>	<i>REVERSE_AIR_FAN_INLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_116.15</i>	<i>OUTLET_MANIFOLD_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_117.0</i>	<i>OUTLET_MANIFOLD_DAMPER_CLOSE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_117.1</i>	<i>REVERSE_AIR_BYPASS_DAMPER_CLOSE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_117.2</i>	<i>REVERSE_AIR_BYPASS_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_117.3</i>	<i>REVERSE_AIR_DAMPER_CLOSE_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_117.4</i>	<i>REVERSE_AIR_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_117.5</i>	<i>INLET_MANUAL_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.0</i>	<i>MODULE_5_HOPPER_HI_LEVEL</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.1</i>	<i>MODULE_5_REVERSE_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.2</i>	<i>MODULE_5_REVERSE_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.3</i>	<i>MODULE_5_OUTLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.4</i>	<i>MODULE_5_OUTLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.5</i>	<i>MODULE_5_INLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.10</i>	<i>MODULE_5_INLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.11</i>	<i>MODULE_5_DOOR_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.12</i>	<i>MODULE_5_COMP_ISOLATED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.13</i>	<i>MODULE_5_REVERSE_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.14</i>	<i>MODULE_5_REVERSE_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_120.15</i>	<i>MODULE_5_OUTLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.0</i>	<i>MODULE_5_OUTLET_DAMPER_CLOSE_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.1</i>	<i>MODULE_5_INLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.2</i>	<i>MODULE_5_INLET_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.3</i>	<i>MODULE_5_BROKEN_BAG</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.4</i>	<i>MODULE_5_HOPPER_HI_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.5</i>	<i>MODULE_5_HOPPER_LO_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.10</i>	<i>MODULE_6_HOPPER_HI_LEVEL</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.11</i>	<i>MODULE_6_REVERSE_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.12</i>	<i>MODULE_6_REVERSE_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.13</i>	<i>MODULE_6_OUTLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.14</i>	<i>MODULE_6_OUTLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_121.15</i>	<i>MODULE_6_INLET_DAMPER_CLOSED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.0</i>	<i>MODULE_6_INLET_DAMPER_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.1</i>	<i>MODULE_6_DOOR_OPEN</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.2</i>	<i>MODULE_6_COMP_ISOLATED</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.3</i>	<i>MODULE_6_REVERSE_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.4</i>	<i>MODULE_6_REVERSE_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.5</i>	<i>MODULE_6_OUTLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.10</i>	<i>MODULE_6_OUTLET_DAMPER_CLOSE_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.11</i>	<i>MODULE_6_INLET_DAMPER_OPEN_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.12</i>	<i>MODULE_6_INLET_DAMPER_CLOSED_PB</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.13</i>	<i>MODULE_6_BROKEN_BAG</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>
<i>_122.14</i>	<i>MODULE_6_HOPPER_HI_TEMPERATURE</i>	<i>1756-IA32/A</i>	<i>74-132VAC DISCRETE INPUT</i>

Fuente: empresa de diseño R. J. REYNOLDS. Consulta: 19 de mayo de 2018.

El listado anterior presenta las retroalimentaciones al PLC ControlLogix tanto de señales digitales como de señales analógicas para que la programación de diseño pueda operar el sistema de manera eficiente y remover la ceniza de los gases de combustión.

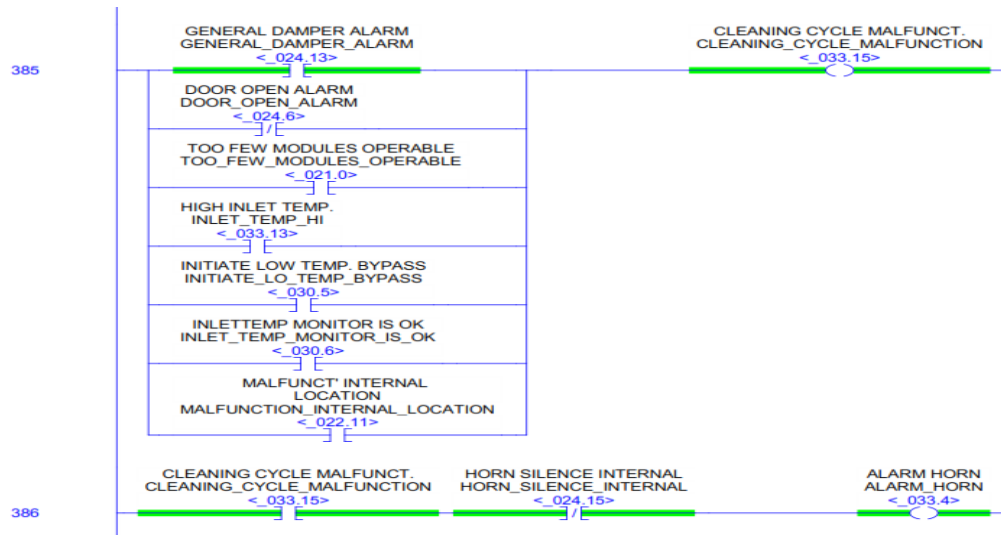
### **3.1.2. Descripción de las líneas de programación**

El programa da inicio con el reconocimiento y al tipo de variables; así como, la utilización de contadores y de bloques de programación que proporciona el PLC lógica de programación tipo escalera.

Luego de la, revisión de los estados de disponibilidad de los módulos, verifica el estatus de las bolsas no rotas, compuertas de acceso cerradas, válvulas en la posición que corresponde para su uso, que no esté saturado el módulo de ceniza en la tolva, disponibilidad de por lo menos más de seis módulos, disponibilidad del ventilador de limpieza para las mangas tipo filtro.

Después de analizar la disponibilidad del *baghouse*, el programa enlista los posibles casos de fallo en operación así como las modalidades de funcionamiento; por ejemplo, si se eligió alguno de los tres modos de operación: presión diferencial, automático o por tiempo.

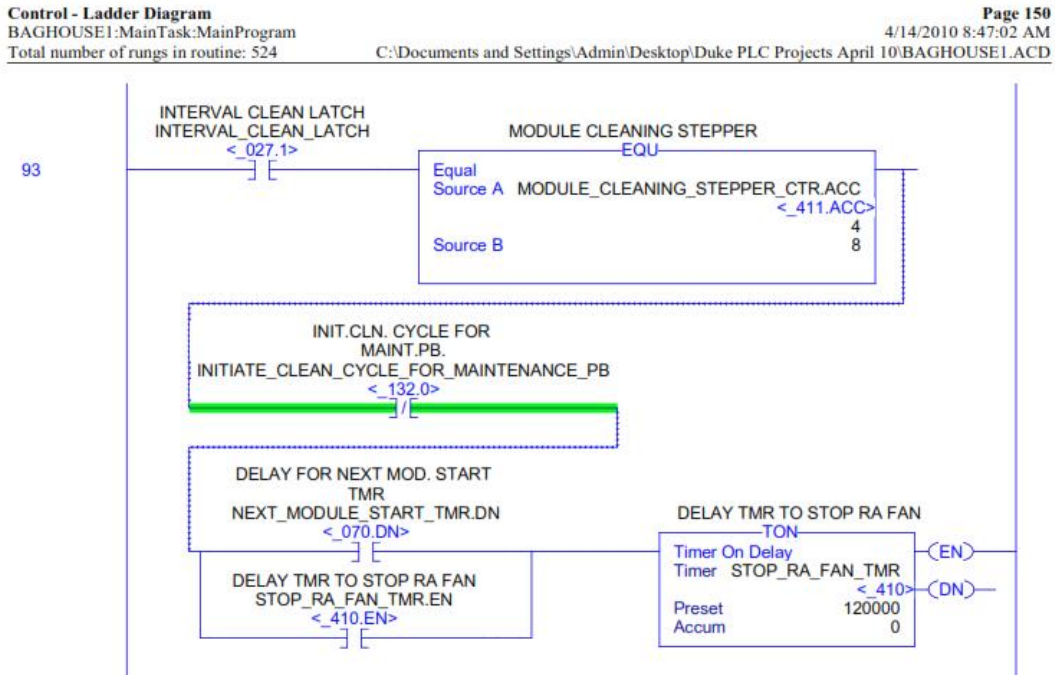
Figura 8. Posibles fallas en el sistema para la activación de la alarma



Fuente: elaboración propia.

El programa también analiza los casos de falla y por lógica qué hacer cuando esto surge; por ejemplo: si el sensor de bolsa rota detecta falla en algún módulo en operación, este activa una alarma sonora y realiza la operación de válvulas para que el módulo quede aislado de los gases de combustión; también, una condición anómala en las válvulas es el retardo en la apertura o no cerrar de formas completa, ocurre de forma recurrente el exceso de ceniza en la tolva, el módulo quede saturado por ceniza; para estos diferentes problemas, el PLC tiene rutinas de programación preestablecidas para generar un adecuado funcionamiento.

Figura 9. Secuencia modo de limpieza



Fuente: elaboración propia.

Continuando con las líneas de programación, se tienen ciclos programados de cada modo de limpieza y en listados según la necesidad; empieza en el diagrama tipo escalera por secuencias de permisos; abre y cierra las válvulas y activa el ventilador de aire reverso para realizar el soplado correspondiente de los filtros en cada módulo.

El programa cuenta con 523 líneas de programación, concerniente a la operación de los ocho módulos que componen el filtro de ceniza; las rutinas se aplican según las circunstancias en el proceso de operación; para el óptimo funcionamiento se requiere definir algunos tiempos por lo que se analizan a continuación.



### 3.1.3. Coordinación de tiempos y parámetros a definir

La referencia de tiempos toma en cuenta el lapso de acción de los instrumentos; por ejemplo, el tiempo muerto que le toma al sensor de temperatura establecer la temperatura real del flujo de gases, que este caso por la naturaleza de la operación no es de exagerada precisión; pero si se toma en cuenta la dilación que le toma a un cilindro realizar toda la carrera de acción para la apertura o el cierre de una compuerta; se debe otorgar un tiempo de espera en segundos.

El tiempo de limpieza para que la ceniza se precipite en la tolva luego de una secuencia de limpieza es importante designarlo como un tiempo de espera dentro de la programación.

También, se toma en cuenta la acción de la compuerta de acceso principal a todos los módulos; apertura y cierra de una forma lenta a propósito para que la temperatura de los gases de escapen no entren de golpe y dañen los componentes del *baghouse*; esta compuerta está delimitada únicamente por dos interruptores: final de carrera para su confirmación de cierre y apertura designándole un tiempo de acción de 47 segundos y al cumplir este lapso; sino se retroalimenta la acción de confirmación de abierto o cerrado, el sistema genera una alarma audible y visible.

Tiempo de espera luego de que un módulo deja de funcionar para luego generar una limpieza, este se programa en un rango de 35 a 42 segundos.

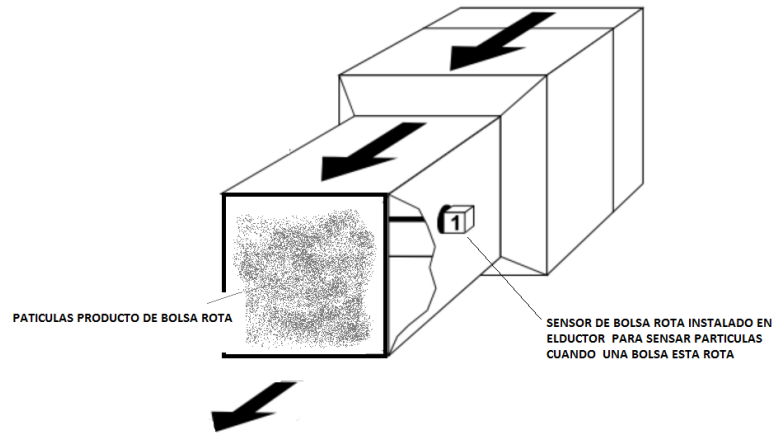
### **3.2. Funcionamiento de los detectores de bolsa rota y aplicación en el filtro de bolsas**

El sistema de filtros está compuesto por bolsas como su nombre lo indica (casa de bolsas o *baghouse*) siendo las bolsas son el elemento principal; cuenta con protección de temperatura y un sensor que detecta cuando una de estas bolsas se encuentra rota; si en un caso este detector no estuviera presente, se detectaría que se encuentra alguna bolsa rota hasta que la chimenea empieza a sacar ceniza, lo cual es penalizado por las leyes de medio ambiente; por este motivo se colocan estos tipos de sensores.

Este sensor se basa en el efecto triboeléctrico: es un tipo de electrificación causado por el contacto con otro material (por ejemplo, el frotamiento directo). La polaridad y la fuerza de las cargas producidas se diferencian según los materiales, la aspereza superficial, la temperatura, la tensión y otras características.

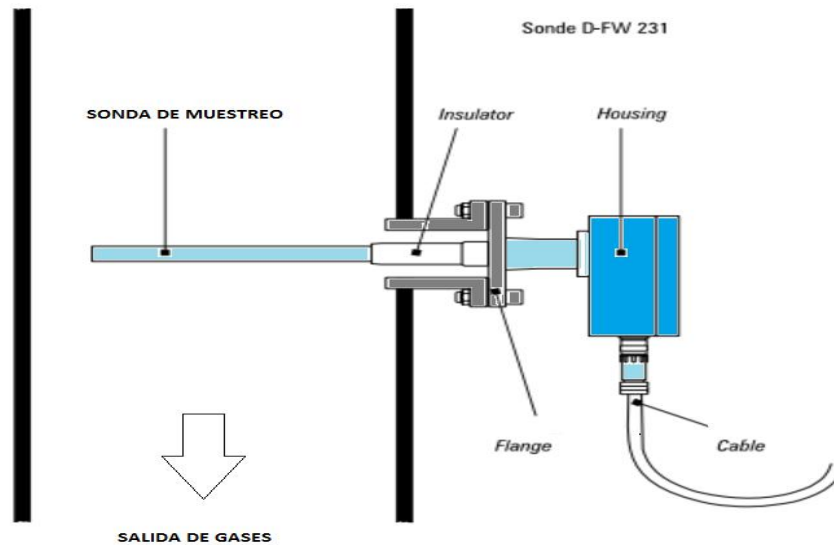
Se denomina triboelectricidad al fenómeno de electrificación por frotamiento. La electrostática puede producirse por frotamiento o por influencia. Aunque la palabra viene del griego para el frotamiento, los tribos, los dos materiales necesitan solamente entrar en contacto y después separarse para que los electrones sean intercambiados. Después de entrar en contacto, un vínculo químico se forma entre algunas partes de las dos superficies, llamado adherencia, y las cargas se mueven a partir de un material al otro para igualar su potencial electroquímico. Esto es lo que crea el desequilibrio neto de la carga entre los objetos.

Figura 10. **Instalación del sensor de bolsa rota en ductos de gases**



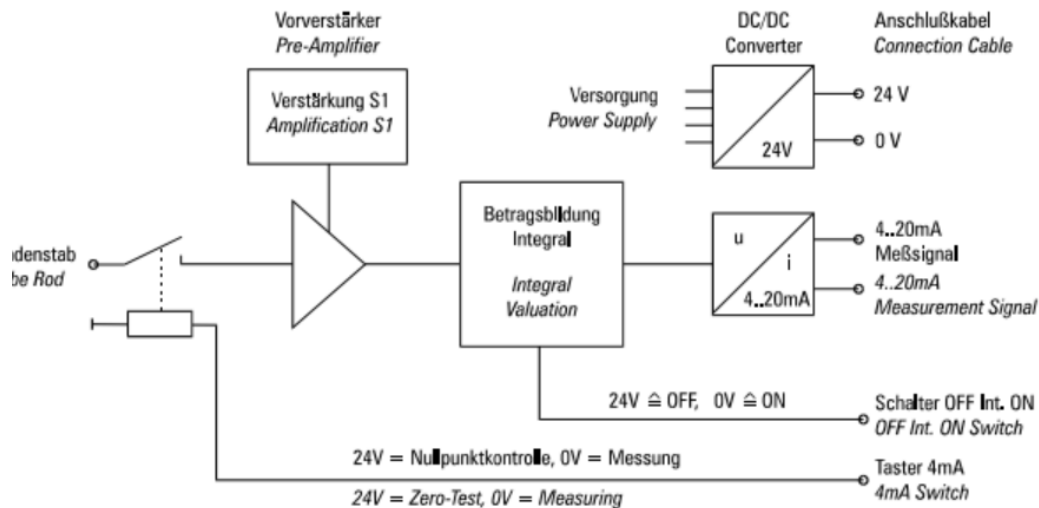
Fuente: Fábrica DURAG D-FW 231. *Sensor de bolsa rota*. Consulta: 20 de mayo de 2018.

Figura 11. **Sensor de bolsa rota**



Fuente: Fábrica DURAG D-FW 231. *Sensor de bolsa rota*. Consulta: 20 de mayo de 2018.

Figura 12. Diagrama de bloque eléctrico del sensor de bolsa rota



Fuente: Diagrama de Fábrica Durag. *Sensor de bolsa rota*. Consulta: 29 de mayo de 2018.

La manera como opera el circuito es censando, los milivoltios que se generan de carga por la fricción de las partículas sobre la sonda de muestreo; esto se amplifica a través de un amplificador operacional diseñado por el fabricante, para luego presentar en una salida analógica de 4-20 miliamperios una alarma al PLC para identificación de bolsa rota.

### 3.3. Sensores de temperatura e interruptores de temperatura en el filtro de bolsas

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo electrónico.

Hay tres tipos de sensores de temperatura: los termistores, los RTD (detector de temperatura resistivo) y los termopares. El sensor de temperatura, típicamente, suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores; la vaina que lo envuelve está rellena de un material muy conductor de la temperatura; para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico.

Los sensores empleados para el filtro son RTDs los cuales funcionan basándose en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Los metales empleados normalmente como RTD son platino, cobre, níquel y molibdeno. De entre los anteriores, los sensores de platino son los más comunes por tener mejor linealidad, más rapidez y mayor margen de temperatura.

En el caso de la temperatura de gases se coloca una RTD que tenga un rango de operación adecuado el cual pueda tolerar desde temperatura ambiente hasta 1000 °F. Luego del RTD se coloca un transmisor que sea capaz de realizar la conversión de ohm a miliamperios para transmitirlo al PLC e ingresar a este con una lectura análoga de 4-20 miliamperios.

En el caso de los interruptores de temperatura o termostatos como también suelen llamarlos, la función es diferente porque es un elemento mecánico cuya posición varía en función de la temperatura.

Figura 13. **Sensor de temperatura**



Fuente: *Producto rosemount*. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-13-Sensor-de-temperatura-y-humedad-ambiente\\_fig13\\_308786349](https://www.researchgate.net/figure/Figura-13-Sensor-de-temperatura-y-humedad-ambiente_fig13_308786349). Consulta: 22 de mayo de 2018.

En los termostatos eléctricos, al variar la posición, lo que se consigue es abrir o cerrar un circuito funcionando como interruptor de señal discreta, todo/nada, en digital un cero o un uno. Este tipo de termostato consta de un bimetalico formado por dos metales diferentes que actua de man era diferente en función de la temperatura. Cuando se calienta o enfría la unión, en un momento dado, una de las dos piezas dilata o contrae; la otra pieza no ha tenido movimiento. Con ese movimiento se consigue que ambas partes se unan o se separen y, por tanto, pueda pasar o no; la corriente eléctrica que cierra el circuito de control.

Esta es la operación que es aprovechada para la temperatura en las tolvas de los módulos si el módulo en la tolva baja por ejemplo de 90 °F es que la

ceniza se está acumulando y genera un enfriamiento en la tolva lo que da una alarma en el PLC de tolva llena es el modo de empleo de este termostato; si la temperatura supera la operación normal arriba de los 500 °F da una alarma de alta temperatura en el PLC para que el operador la pueda notar y se pueda realizar las acciones necesarias para su corrección.

#### **3.4. Transmisores de presión y su relación con la selección en el modo de limpieza**

Recuérdese que la presión es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea. En el sistema internacional de unidades la presión se mide en pascal (Pa) que es equivalente a una fuerza total de un newton actuando uniformemente en un metro cuadrado.

En el Sistema Inglés la presión se mide en libra por pulgada cuadrada (*pound per square inch* o psi) que es equivalente a una fuerza total de una libra actuando en una pulgada cuadrada.

Sin embargo, en el caso de los módulos, el flujo de los gases atravesando las bolsas genera una presión; en el momento que estas bolsas empiezan a acumular ceniza en la tela esto genera una obstrucción al flujo de los gases; esta obstrucción se puede entender con un aumento en la presión de las dos cavidades del módulo de limpieza por lo que el transmisor de presión diferencial toma este valor como pauta para realizar la limpieza del módulo; este transmisor censa una diferencia de presión bastante baja, por lo que se calibra en pulgadas de mercurio que el rango es de -10 a 0 pulgadas de vacío; esta

diferencia de presión es la que se utiliza en el modo de limpieza por presión diferencial.

### **3.5. Aplicaciones de las válvulas neumáticas y eléctricas en la operación de compuertas de entrada y salida de gases**

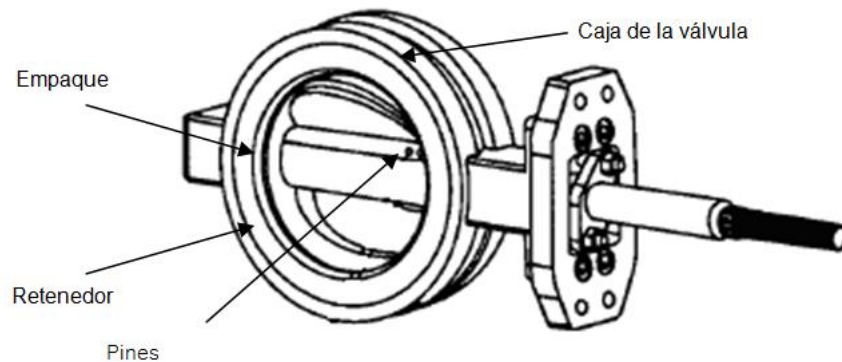
En la operación del sistema de filtros *baghouse* está involucrada una cantidad bastante fuerte de válvulas, dentro de las cuales predominan las válvulas que son accionadas neumáticamente; es por esto que es importante detallar un poco sobre el tema en este capítulo para que el lector tenga una referencia en cuanto a ellas; los criterios para definir un tipo de válvula son tres:

- Criterio de selección por la aplicación
- Costo
- Preferencia del usuario

Cuando se habla del criterio de selección, el ingeniero de diseño evalúa que tipo de caudal o flujo es el que controlará, su temperatura, densidad, dimensiones y el tipo de material de la válvula; en el caso de selección para este sistema, las válvulas deben cumplir con el requerimiento de temperatura, ser resistente a la abrasión o desgaste por el flujo de la ceniza y que puedan encontrarse con diámetros grandes; como la planta cuenta con sistema de aire para la instrumentación y el control se establece que deben ser válvulas con actuadores neumáticos; por ahorro de energía y fácil mantenimiento se definen dos tipos de válvulas: tipo guillotina y tipo mariposa; estas últimas son las que más predominan; su diseño es precisamente para este tipo de flujo; el cuerpo de la válvula es el que se muestra en la figura siguiente:



Figura 14. **Cuerpo de válvula tipo mariposa**



Fuente: *Parte de diagrama de válvula marca Bray.* [https://www.enaceroinox.com/shop/category/accesorios-fittings-sanitario-valvulas-58?gclid=EAlalQobChMlpYn4mbOf3QIVhUSGCh2legiOEAAYASAAEgLUMPD\\_BwE](https://www.enaceroinox.com/shop/category/accesorios-fittings-sanitario-valvulas-58?gclid=EAlalQobChMlpYn4mbOf3QIVhUSGCh2legiOEAAYASAAEgLUMPD_BwE). Consulta: 24 de mayo de 2018.

Las ventajas de este tipo de válvula es que tiene un cierre fuerte y de rapidez moderada, alta capacidad de flujo versus el tamaño, livianas comparada contra otro tipo de válvulas del mismo diámetro, de menor costo y con disco excéntrico para prevención de daños en el asiento de la válvula.

Las desventajas es que su tamaño no está disponible para tamaños menores a 2 pulgadas; cuando el diámetro es menor, generan caídas de presión considerables, para este uso son adecuadas porque se utilizan con un diámetro mayor a 12 pulgadas.



#### 4. COSTOS, EVALUACIÓN Y PLANES DE MANTENIMIENTO PARA FILTROS TIPO BOLSA

Con base en el costo de un equipo y su utilidad, que va ligada una con la otra, el gerente de mantenimiento asigna prioridades a los equipos y otorga tiempo dentro del apretado cronograma de actividades del departamento de mantenimiento.

##### 4.1. Evaluación de costos en la automatización del proceso del *baghouse*

Lo implicado en gastos para automatizar el sistemas de filtros es de especial interés, cuantificar los equipos que el proyecto dispondrá para que se ejecute un gasto preciso y realista. A continuación, uno de los listados de equipos generales utilizados normalmente con precios del mercado nacional.

Tabla II. Costos de equipos de filtros

Descripción	Cantidad	Costo/unidad	Totales
Sensor de temperatura	2	Q 4 678,56	Q 9 357,12
Trasmisor de temperatura	2	Q 5 124,56	Q 10 249,12
Sensor de precio diferencial	8	Q 12 345,56	Q 98 764,48
Válvula tipo mariposa de 36"	8	Q 46 128,45	Q 369 027,60
Cilindro neumático con recorrido de 56"	16	Q 9 734,56	Q 155 752,96
Limit swich de compuerta	16	Q 2 357,21	Q 37 715,36
Electroválvulas de 5 vías solenoide 120 VAC	16	Q 734,87	Q 11 757,92
Unidad de mantenimiento de aire de control	2	Q 4 678,34	Q 9 356,68
Sensor de bolsa rota durag	8	Q 2 750,00	Q 22 000,00
Plc micro logi ms 5000	1	Q 42 548,23	Q 42 548,23
Módulo de entradas digitales	1	Q 5 467,34	Q 5 467,34
Módulo de entradas analógicas	1	Q 5 372,36	Q 5 372,36

Continuación de la tabla II.

Módulo de salidas digitales	1	Q 5 467,34	Q 5 467,34
Módulo de salidas analógicas	1	Q 5 372,36	Q 5 372,36
Panel de control con indicadores y pulsadores	1	Q 37 456,65	Q 37 456,65
Swich de presión	8	Q 1 722,13	Q 13 777,04
<b>Total en equipos</b>			<b>Q 839 442,56</b>

Fuente: elaboración propia.

También, se deben incluir otros gastos: mano de obra, que implica la instalación de los equipos, cableado, calibración todo lo referente a la parte técnica, gastos de diseño por lo que es la programación del PLC, que tipos de instrumentos, rangos de calibración, ajuste de parámetros, tiempos de coordinación, alarmas, metodología de operación, etc.

Como es de vital importancia, en el costo de supervisión también se debe contemplar un encargado que verifique el cumplimiento de las normativas, la calidad de trabajo y que el desenvolvimiento de las obras se desarrolle con la mejor calidad posible.

Tabla III. **Costos relevantes en proyecto de filtros**

Costos de los equipos		Q 839 442,56
Costos de mano de obra construcción	Q 37 856,00	Q 37 856,00
Costos de diseño	Q 29 345,56	Q 29 345,56
Costos de supervisión	Q 16 345,00	Q 16 345,00
<b>Costo total</b>		<u>Q922 989,12</u>

Fuente: elaboración propia.

Al contabilizar todos los gastos del filtro, se resalta que son de considerable atención y que se debe atender con prontitud su mantenimiento; motivo por el cual, a continuación, se deja un listado de tareas para el mantenimiento.

#### **4.2. Planes de mantenimiento para la operación del filtro de bolsas**

Como cualquier equipo en la industria, es esencial tener métodos de mantenimiento para garantizar el buen funcionamiento de los equipos; dentro de estos planes o rutinas de mantenimientos se establecen tres tipos de mantenimiento, ligados unos con otros, por lo que es vital centrar la debida atención; los tres tipos de mantenimiento se enumeran según el equipo al que le aplica: en el área de Instrumentación, mecánica y el área eléctrica; es claro especificar que estos mantenimientos descritos a continuación son focalizados únicamente como mantenimiento preventivo

##### **4.2.1. Planes de mantenimiento a la instrumentación**

El mantenimiento a equipo de instrumentación es uno de los factores importantes para la determinación del buen funcionamiento de la automatización, a continuación, se mencionarán algunas de las actividades que se deben realizar según las recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

- Cilindros neumáticos
  - Realizar las tareas tomando en cuenta las consideraciones de seguridad para su protección personal, manejo de los equipos y la herramienta.

- Solicitar a operaciones el permiso de trabajo y bloqueo de equipo correspondiente
- Asegurarse de realizar su propio bloqueo y etiquetado tomar en cuenta el bloqueo de alimentación eléctrica y neumática
- Hacer un análisis completo del lugar donde se ubica el cilindro para tomar en cuenta el equipo a usar en el desmontaje.
- Al utilizar algún equipo para detener el cilindro neumático se debe cubrir con un material blando amañera de no dañar las partes del cilindro.
- En el caso de sujetar el vástago se deben tomar en cuenta las precauciones necesarias para que no se genere ninguna deformación en este.
- Aflojar las tapas en forma cruzada.
- Limpieza con solventes o desengrasantes no clorados o solventes aromáticos, utilizar cepillos y aire limpio seco, limpieza a fondo.
- Revisión de las partes blandas del cilindro, ver si muestran un desgaste irregular; esto indicaría un mal funcionamiento, notificar al supervisor.

- Al reemplazar partes blandas debe evitarse la deformación, los *o-ring* deben deslizarse a su posición y no rolarlos para no helongar la parte interna.
- En el armado todas las parte deben estar perfectamente secas, lubricar previamente las superficies deslizantes y partes blandas.
- Al armar asegurarse que las empaquetaduras queden correctamente, los tensores deberán tener el mismo ajuste.
- Las tapas deben ajustarse en forma cruzada y progresiva; verificar el alineación entre las tapas delantera y trasera.
- Antes de instalar el cilindro hacer prueba de estanqueidad alimentando (6 bar) las entradas del cilindro al mismo tiempo y ver si existen fugas.
- Prueba de funcionamiento, con aire a baja presión (1 bar), verificar el suave desplazamiento del vástago en ambos sentidos.
- Adjuntar la información de los trabajos realizados al cilindro en la hoja de trabajo de este.
- Proceder a colocar el cilindro en su lugar y hacer las pruebas operativas con el sistema de control.
- Asegurarse de que el área de trabajo haya quedado limpia y ordenada.

- Con el trabajo finalizado, remover su candado y etiquetado informando a su supervisor.
- Solicitar el cierre del permiso de trabajo.
- Válvulas neumáticas o motorizadas
  - Realizar las tareas tomando en cuenta las consideraciones de seguridad para su protección personal, manejo de los equipos y herramienta.
  - Solicitar a operaciones el permiso de trabajo y bloqueo de equipo correspondiente.
  - Asegurarse de realizar su propio bloqueo y etiquetado; tomar en cuenta el bloqueo de alimentación eléctrica o neumática.
  - Realizar un análisis completo del estado como se encuentra la válvula guillotina o motorizada para ver si es necesario el traslado al taller.
  - Desacoplar el cilindro neumático o motor eléctrico que accione la válvula para dar su mantenimiento respectivo.
  - Mantenimiento a todas las piezas del ventilador de la válvula y sus partes blandas.
  - Chequear el alineamiento y desgaste de las guías para la hoja de la válvula y ver la necesidad de repararlas.



- Si es válvula motorizada darle el respectivo mantenimiento al eje tornillo que mueve a la hoja de la válvula.
- Desacoplar la caja motoreductora para hacer su respectivo mantenimiento.
- Verificar la rigidez de la estructura de la válvula y aplicar pintura.
- Acoplar las piezas de la válvula en su respectivo lugar engrasando todas las piezas donde se genere fricción y ajustar las con su respectivo torque.
- Adjuntar la información de los trabajos realizados en la hoja de trabajo.
- Hacer las pruebas operativas con el sistema de control para el correcto funcionamiento de la válvula.
- Asegurarse de que el área de trabajo haya quedado limpia y ordenada.
- Con el trabajo finalizado, remover su candado y etiquetado informando a su supervisor.
- Solicitar el cierre del permiso de trabajo.

- Sensor de temperatura
  - Realizar las tareas tomando en cuenta las consideraciones de seguridad para su protección personal, manejo de los equipos y herramienta.
  - Solicitar a operaciones el permiso de trabajo y bloqueo de equipo correspondiente.
  - Asegurarse de realizar su propio bloqueo y etiquetado tomar en cuenta el bloqueo de alimentación eléctrica o neumática.
  - Realizar un análisis completo del estado en que se encuentra el sensor de temperatura y sus alrededores.
  - El terminal de prueba, marcado como TEST (prueba o T) ubicada en el bloque de terminales, y el terminal negativo (—). El terminal de prueba y el negativo se conectan mediante un diodo a través de la corriente de la señal del lazo. El equipo de medida de corriente conecta el diodo cuando se conecta a través del terminal de prueba (T) y el negativo (—); de modo que, siempre y cuando la tensión que pasa a través de los terminales se mantenga por debajo de la tensión de umbral del diodo, no pasa corriente a través del diodo. Para garantizar que no existan fugas de corriente a través del diodo mientras se realiza una lectura de prueba, o mientras se tenga un medidor indicador conectado, la resistencia de la conexión de prueba o del medidor no debe rebasar los 10 ohmios. Un valor de resistencia de 30 ohmios ocasionará un error de aproximadamente 1,0 % de la lectura.

- Para determinar si el sensor tiene un fallo, cambiarlo por otro sensor o conectar un sensor de prueba localmente en el transmisor para probar el cableado del sensor remoto.
- El transmisor está diseñado con una carcasa de doble compartimento. Un compartimento contiene el módulo de la electrónica y el otro contiene todos los terminales de cableado y los receptáculos de comunicación.
- La electrónica está sellada en una cubierta plástica hermética a la humedad, a esto se le conoce como el módulo de la electrónica. El módulo es una unidad que no se puede reparar por lo que todo el equipo debe cambiarse si se encuentra defectuoso.
- Hacer las pruebas operativas con el sistema de control para el correcto funcionamiento del sensor de temperatura.
- Asegurarse de que el área de trabajo haya quedado limpia y ordenada.
- Con el trabajo finalizado, remover su candado y etiquetado informando a su supervisor.
- Solicitar el cierre del permiso de trabajo.

- Interruptor de temperatura
  - Realizar las tareas tomando en cuenta las consideraciones de seguridad para su protección personal, manejo de los equipos y herramienta.
  - Solicitar a operaciones el permiso de trabajo y bloqueo del equipo correspondiente.
  - Asegurarse de realizar su propio bloqueo y etiquetado; tomar en cuenta el bloqueo de alimentación eléctrica o neumática.
  - Realizar un análisis completo del estado en que se encuentra el interruptor de temperatura y sus alrededores.
  - Revisión del bulbo, estado, conexiones mecánicas, libre de contaminantes y daños físicos.
  - Prueba a los interruptores con 110V para ver si accionan en subida de temperatura y desconectan cuando la temperatura desciende.
  - Calibración de la deflexión del elemento deflector a la temperatura calibrada.
  - Evaluación y limpieza de los contactos dentro del Interruptor, libre de contaminantes y sarro.

- Medición de aislamiento y continuidad de los conductores eléctricos, señal y alimentación 120 vac.
- verificación del estatus de los ductos, acoples y errajes en la instalación libre de perforaciones, abrasión, oxido, torsión.
- Hacer las pruebas operativas con el sistema de control para el correcto funcionamiento del interruptor de temperatura.
- Asegurarse de que el área de trabajo haya quedado limpia y ordenada.
- Con el trabajo finalizado, remover su candado y etiquetado informando a su supervisor.
- Solicitar el cierre del permiso de trabajo.
- Sensor de bolsa rota
  - Realizar las tareas tomando en cuenta las consideraciones de seguridad para su protección personal, manejo de los equipos y herramienta.
  - Solicitar a operaciones el permiso de trabajo y el bloqueo del equipo correspondiente.
  - Asegurarse de realizar su propio bloqueo y etiquetado; tomar en cuenta el bloqueo de alimentación eléctrica o neumática.

- Realizar un análisis completo del estado en que se encuentra el sensor y sus alrededores.
- Simular la señal de 4-20 mA que el sensor envía al PLC; verificar en el PLC que se esté leyendo de forma adecuada.
- Limpiar la tarjeta con aire comprimido y ajustar debidamente los herrajes.
- Sacar el electrodo y verificar su estado, libre de abrasión; limpiarlo con un paño antiestático, colocarlo debidamente y aplicar sellador en la rosca.
- Verificar la activación de los relevadores que dan señal de bolsa rota.
- Hacer las pruebas, operativa con el sistema de control para el correcto funcionamiento del sensor.
- Asegurarse de que el área de trabajo haya quedado limpia y ordenada.
- Con el trabajo finalizado, remover su candado y etiquetado informando a su supervisor.
- Solicitar el cierre del permiso de trabajo.

#### **4.2.2. Planes de mantenimiento eléctrico**

Estos son orientados a dos elementos eléctricos de potencia que se encuentran en los filtros; estos son los motores de 2,5 a 5 Hp y el tablero de alimentación general que maneja un voltaje máximo de 480 VAC trifásico.

Las pruebas eléctricas se realizan con el objetivo de valorar el estado de los equipos, su capacidad, disponibilidad y para descubrir o supervisar defectos.

Una de las pruebas más importantes es la de aislamiento en las máquinas eléctricas, es la parte más esencial por lo que define la fiabilidad, durabilidad y el tiempo de servicio de la máquina. El envejecimiento del aislamiento es debido a múltiples factores; sino se lleva un control de la resistencia, puede en cualquier momento presentarse una falla de grandes consecuencias.

La principal causa de daños en el aislamiento es el efecto combinado de la interacción del calor, los efectos mecánicos y eléctricos, y el impacto del medio ambiente (humedad, contaminación, alta temperatura, etc.). El envejecimiento provocado por los fenómenos de temperatura y choque térmico de los compuestos orgánicos (resina, papel, tela) reduce en gran medida la rigidez dieléctrica del aislamiento de la máquina. Los compuestos no orgánicos (mica, vidrio, asbesto) no están sujetos al envejecimiento térmico provocado por las temperaturas de funcionamiento del equipo; sino el aislamiento es más vulnerable para los efectos mecánicos.

Cuando la máquina trabaja, sus devanados sufren la acción del esfuerzo eléctrico y electromagnético en condiciones normales o de emergencia, que hacen que estos devanados se desplacen. Además, los devanados están

sujetos a fuerzas que se producen durante la expansión térmica de diferentes partes.

- Plan de mantenimiento a motores eléctricos
  - Realizar las tareas tomando en cuenta las consideraciones de seguridad para su protección personal, manejo de los equipos y la herramienta.
  - Solicitar a operaciones el permiso de trabajo y el bloqueo del equipo correspondiente.
  - Asegurarse de realizar su propio bloqueo y etiquetado; tomar en cuenta el bloqueo de alimentación eléctrica.
  - Realizar un análisis completo del estado en que se encuentra el motor su acople y sus alrededores, se encuentra sin daños ni señas ni olor a recalentamiento.
  - La puesta a tierra está en buen estado y correctamente conectada.
  - Medir el aislamiento del cableado del motor.
  - Medir el aislamiento al motor y verificar que este dentro de los rangos apropiados.
  - Apretar borneras y fijación adecuada de cables.



- Engrasar toda las partes móviles y mecanismos del motor cerciorarse de ruidos diminutos en los rodamientos del motor.
- Verificación de las protecciones eléctricas del motor ajustadas a los datos de placa del motor.
- Realizar pruebas de funcionamiento, medición de vibraciones y verificar el adecuado funcionamiento del paro de emergencia y las luces de operación.
- Que el motor quede debidamente identificado, limpio y ordenado.
- Asegurarse de que el área de trabajo haya quedado limpia y ordenada
- Con el trabajo finalizado, remover su candado y etiquetado informando a su supervisor.
- Solicitar el cierre del permiso de trabajo
- Mantenimiento al panel eléctrico
  - Realizar las tareas tomando en cuenta las consideraciones de seguridad para su protección personal, manejo de los equipos y herramienta.
  - Solicitar a operaciones el permiso de trabajo y bloqueo de equipo correspondiente.

- Asegurarse de realizar su propio bloqueo y etiquetado; tomar en cuenta el bloqueo de alimentación eléctrica.
- Verificar el aspecto físico en general del panel, pintura, apertura de compuertas, empaquetaduras, funcionamiento de ventilador, solidez de fijación.
- Limpiar con aspiradora todo los equipos eléctricos verificando que estos queden libres de polvo.
- Apretar todos los soportes de las borneras y verificar su estado.
- Asegurarse de que el área de trabajo haya quedado limpia y ordenada.
- Con el trabajo finalizado, remover su candado y etiquetado informando a su supervisor.
- Solicitar el cierre del permiso de trabajo.

#### **4.2.3. Planes de mantenimiento mecánico**

El mantenimiento mecánico engloba la revisión interna y externa del filtro; se sugieren las siguientes tareas a realizar:

- Realizar las tareas tomando en cuenta las consideraciones de seguridad para su protección personal, el manejo de los equipos y la herramienta.

- Solicitar a operaciones el permiso de trabajo y bloqueo de equipo correspondiente.
- Asegurarse de realizar su propio bloqueo y etiquetado; tomar en cuenta el bloqueo de alimentación eléctrica o neumática.
- Realizar un análisis completo del estado en que se encuentra la estructura metálica; verificar que no existan perforaciones en la lámina del módulo, tolva, ductos y en la parte superior.
- Verificar que dentro del módulo se pueda contar con oxígeno para acceder a él con el dispositivo medidor de gases; al tener condiciones ingresar a la verificación de bolsas.
- Revisar que cada bolsa esté debidamente sujeta en ambos extremos, libre de cortes o desgarres en la tela.
- Verificar por dentro el estado de la lámina que se encuentre libre de perforaciones, deformaciones o desgaste excesivo por abrasión.
- Revisar que todas las compuertas de acceso al módulo, cuente con sello adecuado, que estén libres de deformaciones y que puedan abrir de forma adecuada sin excesiva fuerza.
- Revisar la rejilla (*grating*) de los pasillos y escaleras de acceso a los diferentes niveles del filtro.

- Verificar el adecuado funcionamiento del ventilador de aire reverso, realizar las mediciones de vibración, lubricación de las chumaceras y apretar las guardas del ventilador.

## CONCLUSIONES

1. La automatización y la implementación de la instrumentación en los filtros tipo bolsa es evidentemente necesaria para toda aquella empresa que utilice este sistema removedor de partículas sólidas dentro de un flujo de gases.
2. La selección adecuada de los instrumentos, con los estándares de comunicación, permite que la instrumentación instalada sea controlada, supervisada y ajustada de manera distante; facilita la operación, el mantenimiento y la detección de fallas.
3. Es necesario que el ingeniero conozca el completo funcionamiento del sistema para determinar con exactitud una adecuada programación en el PLC; tomando en cuenta las variables, tiempos de operación, posibles fallas del equipo y una mala operación humana.
4. El mantenimiento de los equipos es una actividad determinante para que este pueda funcionar de forma adecuada; por lo que seguir las instrucciones que proporcionan los fabricantes sobre los instrumentos es fundamental entenderlo y velar por que se lleve a cabo.
5. Que la empresa tenga una posición competitiva y eficiente requiere de personal capacitado, adecuados sistemas de monitoreo y control, equipos de buena calidad, mantenimientos con cronogramas así como y seguimiento de las recomendaciones de fábrica.



## RECOMENDACIONES

1. Por motivos de cuidados en el ambiente, la industria que genere ceniza debe tener el sistema recolector de ceniza en óptimas condiciones y funcionando al 100 % del tiempo que el proceso lo requiera para evitar daños en el ambiente y comunidades aledañas.
2. El empleo de instrumentos que cumplan con las normativas de acuerdo al ambiente donde se utilicen, es resaltante para la confiabilidad en la operación de los filtros.
3. La capacitación y los manuales instructivos para el operador de los filtros es determinante en la adecuada operación del sistema, para que el sistema no salga de línea por falsas alarmas o alarmas que se pueden evitar si el operador esté familiarizado con el equipo.
4. Tener un mejor control del equipo y una retroalimentación del proceso; la implementación de una HMI en el panel de control facilita el manejo del proceso así como una rápida identificación de la operación.
5. Manejar una buena calidad de aire de instrumentación, con medidores de presión bien calibrados, aceites lubricantes adecuados, secadores de aire de instrumentación según la necesidad del ambiente (dependiendo la humedad del ambiente), compresores que generen el volumen adecuado a la demanda de todos los instrumentos.

6. La instalación de redes de tierra adecuadas, diseñadas y probadas con base en el nivel de descargas electroatmosféricas del lugar, también, supresores de voltajes y todas las protecciones pertinentes para sobrevoltajes, por cuidado a todos los instrumentos empleados en los filtros.



## BIBLIOGRAFIA

1. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. *Baghouse Filter*. Estados Unidos: EPA, 2004. 392 p.
2. Baghouse application, by Malcolm Swanson P.E. *Technical paper*. Estados Unidos: Baghouse, 1998. 139 p.
3. Bray Controls. [En línea]. <[www.bray.com](http://www.bray.com)>. [Consulta: 27 de mayo de 2018].
4. *Guía de inicio rápido para controladores Logix5000™*. [en línea]. <[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-rm003\\_-es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-rm003_-es-p.pdf)>. [Consulta: 1 de junio de 2018].
5. HOUSE, James. *Filtros y casas de bolsas*. Estados Unidos: Turner Environmental Protection Agency Research Triangle, 1998. 57 p.
6. Industrie Elektronik GMBH & CO KG. *Filterwatch D-FW 230 MANUAL*. Alemania: McGraw-Hill, 2004. 150 p.
7. *United electric controls*. [en línea]. <[www.ueonline.com](http://www.ueonline.com)>. [Consulta: 28 de mayo de 2018].

