



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN POSICIONADOR  
ELECTRÓNICO PARA CONTROL DE LA COMPUERTA DE FLUJO  
DE CARBÓN EN EL PULVERIZADOR N°1 UNIDAD I DE  
TERMOPAIPA**

**JONATHAN ROLANDO BECERRA REYES**  
**Código: 20441317163**  
**jonbecerra@uan.edu.co**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Tunja, Colombia  
2020



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN POSICIONADOR  
ELECTRÓNICO PARA CONTROL DE LA COMPUERTA DE FLUJO  
DE CARBÓN EN EL PULVERIZADOR N°1 UNIDAD I DE  
TERMOPAIPA**

**JONATHAN ROLANDO BECERRA REYES**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero electrónico**

Director (a):

PhD. Leonel Paredes Madrid

Línea de Investigación:

Instrumentación y control

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2020



*A mi hija*

*Tu cariño y afecto fue el detonante de mi felicidad, mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti. A tu corta edad, me has enseñado y me sigues enseñando muchas cosas de esta vida.*



## **Agradecimientos**

A la universidad Antonio Nariño, a sus docentes, por permitirme crecer profesionalmente y llegar a esta meta.

A los ingenieros Angela Viviana Peña, Leonel Paredes, Jorge Bareño y Marta Roció Suarez que a través de los años me aportaron sus conocimientos y me brindaron todo el apoyo durante el transcurso de mi carrera para formarme como buen profesional.

A mi familia por su apoyo incondicional y por estar presentes en esta evolución de mi carrera como profesional, especialmente a mi madre, Aurora Reyes, sin tu constante esfuerzo esto no hubiera sido posible.

A GENSA – TERMOPAIPA por darme el espacio y permitir que realizara mi tesis en esta prestigiosa empresa.

A todos mis compañeros de trabajo y de clases que de una u otra manera estuvieron involucrados en este trabajo de grado.

## Resumen

El presente proyecto corresponde a la automatización de la compuerta del molino N° 1 de la Unidad 1 de Termopaipa. Específicamente, se reemplazó el control manual de apertura de válvula de carbón el cual representaba riesgo operacional y ocupacional.

Previo a la automatización, la compuerta se manipulaba en forma manual. Para tal fin, el operador de sala de control daba la orden al operador de la zona de molinos para abrir o cerrar la compuerta en diferentes posiciones. Con el objetivo de sustituir esta maniobra, se seleccionó un posicionador actuador que cumple con normatividad para el sitio de operación y se acondicionó el sitio. La instalación del sistema se programó con ABB para evitar conflictos de comunicación y actualmente se encuentra en servicio.

Palabras clave: caldera, turbina, Condensador, Control industrial.



## **Abstract**

This project corresponds to the automation of the gate of mill No. 1 of Unit 1 of Termopaipa. Specifically, the manual carbon valve opening control which represented operational and occupational risk was replaced.

Before automation, the gate was manipulated manually. For this purpose, the control room operator gave the order to the mill area operator to open or close the gate in different positions. In order to replace this maneuver, an actuator positioner that complies with regulations for the operation site was selected and the operation site was conditioned. The system installation was scheduled with ABB to avoid communication conflicts and is currently in service.

Keywords: boiler, turbine, Condenser, Industrial control.

# Contenido

	Pág.
Introducción .....	13
<b>Objetivos .....</b>	<b>15</b>
<b>Objetivo Principal.....</b>	<b>15</b>
<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo 1. Marco teórico .....</b>	<b>16</b>
1.1 Reseña histórica .....	16
1.2 GENSA.....	17
1.3 Central Termoeléctrica de Paipa Termopaipa .....	18
1.3.1 Localización .....	18
1.3.2 Descripción de la central .....	19
1.3.3 Descripción del proceso de producción .....	20
1.4 Certificaciones internacionales del actuador seleccionado.....	29
1.4.1 Certificación ATEX .....	29
1.4.2 Certificación IECEx .....	30
1.4.3 Certificación EAC (TR-CU-EX) .....	30
1.4.4 Certificación INMETRO .....	30
1.4.5 Certificación KOSHA .....	30
1.4.6 Certificación CSA .....	31
1.4.7 Certificación UL.....	31
1.4.8 Estándar de protección IP ( <i>Ingress Protection</i> ).....	31
1.4.9 Estándar de protección NEMA (National Electrical Manufacturers Association). 32	32
1.5 Control Industrial.....	34
<b>Capítulo 2. Desarrollo metodológico.....</b>	<b>36</b>
2.1 Funcionamiento previsto del diseño e implementación del posicionador .....	36
2.1 Análisis del sistema .....	37
2.1.1 Ubicación del posicionador .....	37
2.1.2 Criterios para la selección de dispositivos.....	38
2.1.3 Selección del actuador .....	38
2.2 Descripción del posicionador y requerimientos .....	42
2.2.1 Conexión de potencia.....	42
2.2.2 Módulos de entrada y salida analoga .....	43
2.2.3 Tubería .....	45
2.2.4 Flexiconduit.....	46
2.2.5 Cable para instrumentación .....	47
2.3 Instalación y puesta en marcha del posicionador y actuador .....	48
2.3.1 Tubería y cableado .....	48
2.3.2. Tablero de potencia .....	51
2.3.3 Adecuación mecánica para el posicionador y actuador .....	52
2.3.4 Instalación módulos de entradas y salidas .....	55

<b>Capítulo 3. Resultados</b> .....	<b>56</b>
3.1 Funcionamiento .....	56
3.2 Indicación en sala de operación.....	57
3.3 Programación del control .....	57
<b>Conclusiones</b> .....	<b>59</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>61</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1-1:</b>	Ubicación de Termopaipa .....	18
<b>Figura 1-2:</b>	Proceso de generación de energía en Termopaipa .....	19
<b>Figura 1-3:</b>	Sistema de transporte de carbón Termopaipa .....	21
<b>Figura 1-4:</b>	Circuito caldera Unidad I y equipos auxiliares.....	22
<b>Figura 1-5:</b>	Sistema de almacenamiento y vaporización de GLP .....	23
<b>Figura 1-6:</b>	Domo o calderín .....	23
<b>Figura 1-7:</b>	Esquema caldera, sobrecalentadores y economizador .....	24
<b>Figura 1-8:</b>	Vista interna de una turbina .....	26
<b>Figura 1-9:</b>	Esquema de un condensador .....	26
<b>Figura 1-10:</b>	Esquema de un Generador eléctrico.....	27
<b>Figura 1-11:</b>	Esquema proceso de desmineralización por intercambio iónico .....	28
<b>Figura 1-12:</b>	Esquema proceso de desmineralización por ósmosis inversa .....	28
<b>Figura 1-13:</b>	Calidad de agua desmineralizada .....	29
<b>Figura 2-1:</b>	Ubicación del posicionador en el Pulverizador N°1 de la Unidad 1 .....	37
<b>Figura 2-2:</b>	Prueba con torquímetro sobre la válvula de flujo de carbón.....	40
<b>Figura 2-3:</b>	posicionador y actuador Rotorksischekel .....	41
<b>Figura 2-4:</b>	Caja de bornes .....	42
<b>Figura 2-5:</b>	Módulo de salida AO810V2 Unidad compacta TU810V1 .....	43
<b>Figura 2-6:</b>	Tubería y accesorios instalados.....	46
<b>Figura 2-7:</b>	Instalación con tubería y flexiconduit .....	47
<b>Figura 2-8:</b>	Cable de instrumentación .....	48
<b>Figura 2-9:</b>	Instalación tubería de control.....	48
<b>Figura 2-10:</b>	Salida de los módulos de ABB hacia el actuador .....	49
<b>Figura 2-11:</b>	Tubería de potencia en el molino.....	49

<b>Figura 2-12:</b>	Acercamiento tubería de potencia en molino hacia actuador .....	50
<b>Figura 2-13:</b>	Ubicación del actuador .....	50
<b>Figura 2-14:</b>	Caja de distribución potencia y actuador .....	51
<b>Figura 2-16:</b>	Varilla para transmitir movimiento a válvula vista superior .....	53
<b>Figura 2-20:</b>	Módulos de entradas y salidas análogas instalados .....	55
<b>Figura 3-1:</b>	Mímico en sala de control válvula de control de flujo .....	56
<b>Figura 3-2:</b>	Creador de graficos 800xA .....	57
<b>Figura 3-3:</b>	Arquitectura de control sistema de control DCS unidad 1 y 2 .....	58
<b>Figura 3-4:</b>	Antes y después de la instalación del posicionador .....	58

## Lista de tablas

<b>Tabla 1-1:</b>	Características de las unidades de Termopaipa .....	1920
<b>Tabla 1-2:</b>	Norma CEI60529 Primer dígito (X) Sólidos: .....	3131
<b>Tabla 1-3:</b>	Norma CEI60529 Segundo dígito (Y) Líquidos: .....	3232
<b>Tabla 1-4:</b>	Clasificación estándar NEMA .....	3232
<b>Tabla 2-1:</b>	Criterios selección del actuador .....	3838
<b>Tabla 2-2:</b>	Características del actuador y psocionador .....	4242
<b>Tabla 2-4:</b>	Características módulo de salida .....	4444
<b>Tabla 2-3:</b>	Características modulo entrada .....	4444
<b>Tabla 2-4:</b>	Características de la tubería galvanizada .....	455

## Introducción

El control de posición en el sector industrial es muy importante debido a sus diferentes usos en cada uno de los procesos que se manejan dentro de una empresa, este control de posición se puede aplicar a válvulas, cilindros de simple y doble efecto, válvulas mecánicas entre otras.

Se optó por realizar el diseño y construcción del posicionador electrónico para la compuerta de flujo de carbón del pulverizador 1 de la unidad 1 de Termopaipa, debido a que la compuerta no presenta un control de posición, razón por la cual el operador no puede tener una indicación del grado de apertura de dicha compuerta. Asimismo, el operador debe comunicarse frecuentemente con un segundo operador en un cuarto de control para realizar una acción de corrección de acuerdo al nivel de combustión dentro de la caldera. La operación manual de la compuerta requiere mantenerla en una posición estable y para lograrlo el operador debe amarrarla con un alambre, así evita que ocurra una apertura o cierre inesperado.

La falta de control de posición en esta compuerta genera que el operador que se encuentra en el área de molinos tenga que maniobrar el flujo de carbón con una compuerta de aire caliente, la cual sirve para mantener en estado óptimo la temperatura del molino, además de calentar el carbón pulverizado para que tenga una mejor combustión dentro de la caldera. Cuando la temperatura del molino se eleva demasiado el operador abre otra compuerta que se encarga de bajar la temperatura dentro del molino, cabe aclarar que esta compuerta también es manual y la apertura es controlada por el operador. Este proceso manual genera falencias en el proceso de combustión ocasionando una quema deficiente del carbón generando, mayor cantidad de inquemados, alto exceso de aire, lo

que disminuye la eficiencia del proceso de generación. Adicionalmente son maniobras que generan riesgos ocupacionales.

Esta situación es la base para el desarrollo del presente proyecto el cual consiste en automatizar la apertura de la compuerta, para lo cual, de acuerdo a las exigencias del sitio se seleccionó un posicionador y actuador que cumple con normatividad antiexplosiones y se acondicionó en el sitio para controlar la apertura de la compuerta de forma automática desde la sala de control de la Unidad 1 de Termopaipa.

## Objetivos

### Objetivo Principal

Realizar diseño, construcción e implementación de un posicionador electrónico para controlar la compuerta de flujo de carbón en el pulverizador N°1 de la Unidad I de Termopaipa

### Objetivos específicos

- Diseñar un proceso de interconexión de la parte electrónica del posicionador con la parte mecánica de la compuerta de flujo de carbón del pulverizador N°1 de la Unidad I de Termopaipa.
- Construir un sistema de visualización del valor del punto de referencia respecto al valor verdadero, para que el operador pueda verificar y controlar la posición de la válvula de flujo de carbón en tiempo real.
- Implementar el posicionador electrónico para control de la compuerta de flujo de carbón en el pulverizador N°1 de la Unidad I de Termopaipa acorde a DIN EN IEC60529.

# Capítulo 1. Marco teórico

## 1.1 Reseña histórica

Para los años 50's el Departamento de Boyacá tenía una capacidad de generación eléctrica de aproximadamente 2600 KW, representado en pequeñas plantas, para atender la creciente demanda y garantizar el suministro de energía a los usuarios (Gensa Termopaipa, 2001). En 1955 se creó la sociedad "Centrales Eléctricas de Tunja S.A", en 1960 se efectuó el cambio de razón social de la sociedad por el de "Electrificadora de Boyacá S.A." (EBSA).

En 1961 se fundó la sociedad Termo Paipa S.A. que se encargaría del montaje de la Unidad 1 con una capacidad de 30 MW. En junio de 1963 entra en operación y se realiza también la fusión de Termo Paipa S.A. con Electrificadora de Boyacá S.A. En julio 1976 entra en funcionamiento la Unidad 2 con una capacidad de 66 MW que atendería la demanda de energía no solo del Departamento de Boyacá sino del Nordeste Colombiano.

Hacia diciembre de 1981 entra en funcionamiento la Unidad 3 de Termopaipa con una capacidad de 74 MW. En 1993 la unidad 2 es repotenciada de 66 MW, pasa a generar 74 MW, además este año es autorizada la construcción de una cuarta unidad con capacidad de generación de 150 MW, en 2014 la unidad 2 se repotencia de nuevo y pasa a generar 78 MW completándose de esta manera un total de 332 MW.

El 20 de diciembre de 2004 el Gobierno Nacional, a través del consejo Nacional de Política Económica y Social, Compes, diseñó una estrategia de saneamiento financiero de la Empresa de Energía de Boyacá, EBSA, la cual está contenida en el documento Compes 3327.



En una primera etapa, GENSA realizará la administración, operación y mantenimiento de las unidades, ya que la empresa EBSA desvinculó todo el personal que trabajaba en su actividad de generación.

Así mismo se estableció que el contrato de suministro de energía y potencia suscrito por la EBSA con la Compañía Eléctrica de Sochagota, CES, para la unidad Paipa 4, sea cedido a GENSA.

Para realizar la administración, operación y mantenimiento, GENSA suscribió un contrato con el Sindicato de Trabajadores de la Electricidad en Colombia, SINTRAELECOL que permitió a la mayoría de las personas que fueron desvinculadas conservar su trabajo en condiciones similares a las que tenían con la EBSA. Este contrato sindical empezó a ejecutarse el día 1° de mayo de 2005 [1]

## **1.2 GENSA**

Gestión Energética S.A. ESP GENSA es una empresa de Servicios Públicos mixta, constituida como sociedad por acciones, del tipo de las anónimas y sometida al régimen general de los servicios públicos domiciliarios, que ejerce sus actividades dentro del ámbito del derecho privado como empresario mercantil.

GENSA fue creada el 4 de mayo de 1993, bajo el nombre de Hidroeléctrica La Miel S.A. ESP Hidromiel, con el objeto de desarrollar centrales hidroeléctricas en el Oriente de Caldas, teniendo como principales accionistas a Interconexión Eléctrica S.A. ISA, la Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC, los Departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda y varios de sus municipios y una serie de accionistas privados minoritarios.

El nombre de Gestión Energética S.A. ESP, se adoptó oficialmente desde el 27 de febrero de 2004. En el año 2005, el Gobierno Nacional decidió capitalizar a GENSA con los activos de generación de Termopaipa, representados en las Unidades I, II y III de la Central y el Contrato de Compra venta de potencia con la Central Termoeléctrica Paipa IV que tenía EBSA S.A. ESP con la Compañía Eléctrica de Sochagota CES, contrato conocido como el PPA de Paipa IV, para que fuera administrado hasta su terminación, Dicho contrato tuvo una duración de 20 años a partir del 07 de Enero de 1.999 hasta el 06 de enero de 2018.

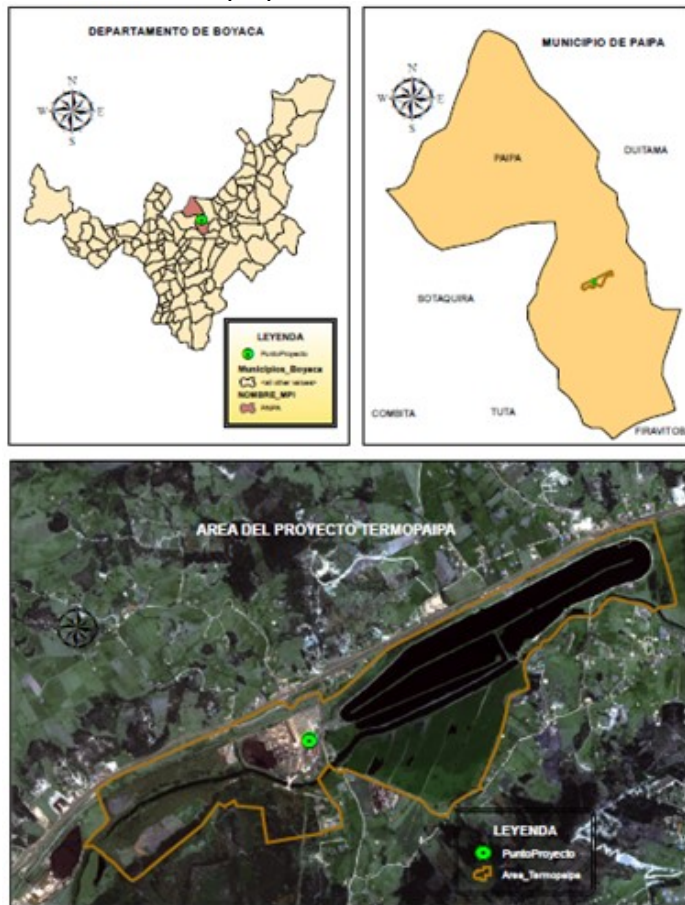
GENSA empezó a obrar como generador y comercializador en el Mercado Mayorista de Energía (MEM). [2]

## 1.3 Central Termoeléctrica de Paipa Termopaipa

### 1.3.1 Localización

La Central Termoeléctrica de Paipa se encuentra ubicada en el departamento de Boyacá, municipio de Paipa, vereda “El Volcán”, en el kilómetro 3 de la vía Paipa-Tunja, en el tramo 4 de la cuenca alta del río Chicamocha, como se presenta en la Figura 1-1. [3]

**Figura 1-1:** Ubicación de Termopaipa



Fuente: GENSA S.A. ESP. Informe de Cumplimiento Ambiental segundo semestre de 2019

### 1.3.2 Descripción de la central

La Central Termoeléctrica de Paipa es una planta de generación de energía, donde se aprovecha la energía calorífica contenida en un combustible para luego producir energía eléctrica. Se encuentran instaladas tres unidades en las cuales, el grupo termoeléctrico está compuesto básicamente por un generador de vapor o caldera, donde usando el calor producido por el carbón, se calienta una determinada cantidad de agua hasta vaporizarla. La turbina por su parte, transforma el vapor proveniente del generador de vapor o caldera en energía mecánica de rotación, mientras el alternador convierte la energía mecánica que trasmite la turbina en energía eléctrica. (Ver figura 1-2) [3]

Figura 1-2: Proceso de generación de energía en Termopaipa



Fuente: GENSA S.A. ESP. Informe de Cumplimiento Ambiental segundo semestre de 2019

Las características de las tres unidades se aprecian en la tabla 1-1. [4]

**Tabla 1-1:** Características de las unidades de Termopaipa

Característica		Unidades	Unidad I	Unidad II	Unidad III
Tipo		-	Acuotubular de tiro balanceado	Acuotubular	Acuotubular
Actividad Evaluada		-	Generación Energía Eléctrica (Termoeléctrica)	Generación Energía Eléctrica (Termoeléctrica)	Generación Energía Eléctrica (Termoeléctrica)
Altura ducto de descarga		m	51	55.6	75
Diámetro del ducto		m	4.00	3.65	3.72
Longitud nipples		m	0.17	0.15	0.65
Geometría chimenea		-	Circular	Circular	Circular
Marca de la caldera		-	STEIN & ROUBAIX	DISTRAL (FOSTER WHEELER)	DISTRAL (FOSTER WHEELER)
Capacidad		Kg/hora	146	165	165
Clasificación según Resolución 909 de 2008		-	Existente	Existente	Existente
Combustible utilizado		-	Carbón mineral bituminoso	Carbón mineral bituminoso	Carbón mineral bituminoso
Consumo Combustible		Ton/mes	2544	17850	15906
Poder Calorífico		Kcal/kg	4800 - 7600	4800 - 7600	4800 - 7600
Capacidad		Ton/hora de vapor	135 – 145	284	284
Producción de las unidades		MW	4371.21	21802.01	9239.91
Presión		Kg/cm2	68	92	92
Temperatura		°C	505	515	515
Control de Emisiones	Control de gases	-	Enfriamiento por intercambiador tubular y economizador	Enfriamiento por intercambiador tubular y economizador	Enfriamiento por intercambiador tubular y economizador

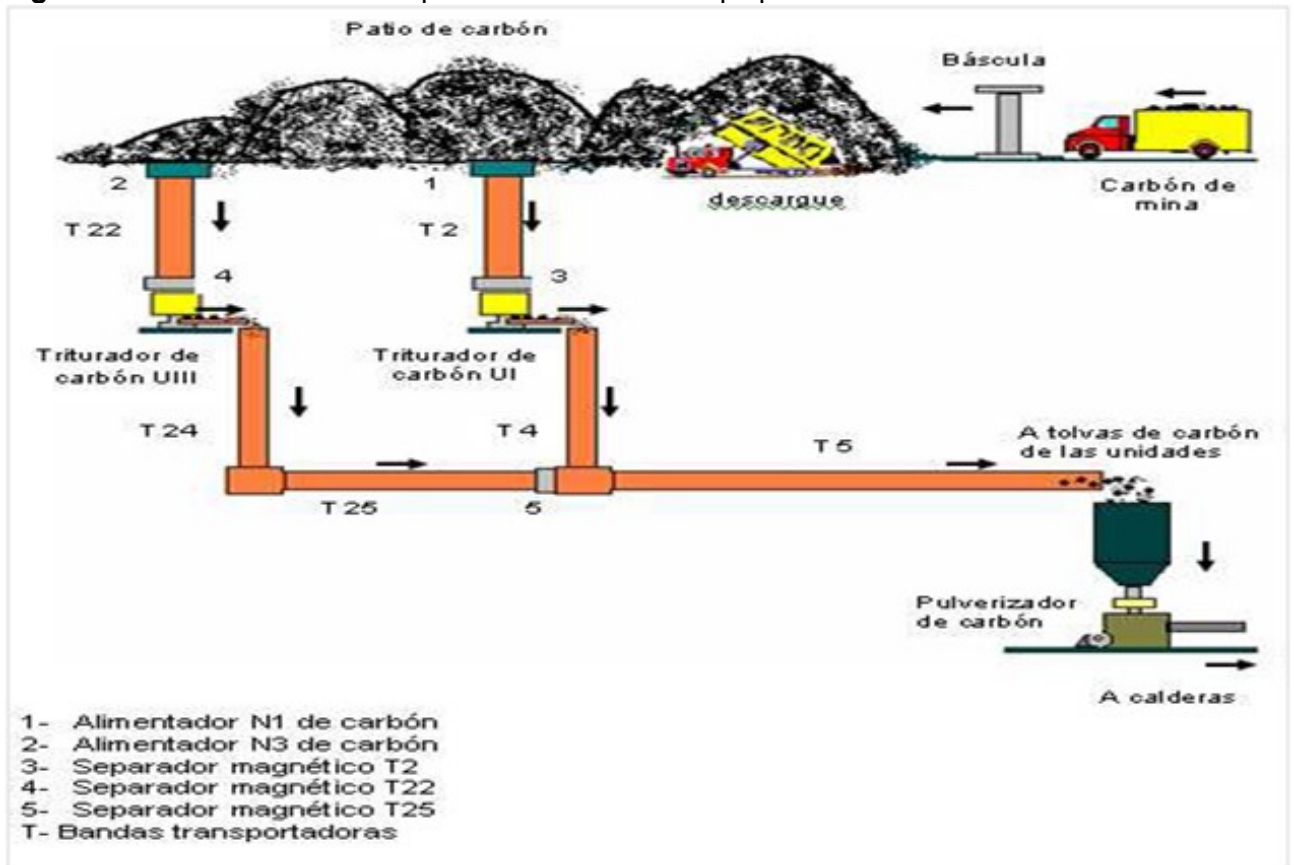
Fuente: GENSA S.A. ESP. Muestreo isocinético para la determinación de las emisiones atmosféricas de fuentes fijas de la Central Termopaipa. Agosto de 2017

### 1.3.3 Descripción del proceso de producción

#### 1.3.3.1 Combustible

El carbón que llega de las minas de la región a la Central es almacenado en un patio, de allí por medio de dos bandas transportadoras se lleva a un triturador en cada banda para darle una configuración más o menos homogénea (3 cm. de grosor) de ahí es trasladado por las bandas a las tolvas de cada unidad, que están ubicadas en la parte superior de la Central, (Ver Figura 1-3) de las tolvas sale por la parte inferior hacia los alimentadores, el carbón triturado que cae del alimentador entra por el ducto central y cae a la zona de molienda. Por medio del flujo de aire generado por el ventilador de aire, el carbón pasa a una zona de clasificación en la cual el carbón grueso se devuelve a la zona de molienda y el fino con el tamaño apropiado continua su camino saliendo por los cuatro ductos de la parte superior del molino hasta alcanzar los quemadores. [5]

**Figura 1-3:** Sistema de transporte de carbón Termopaipa



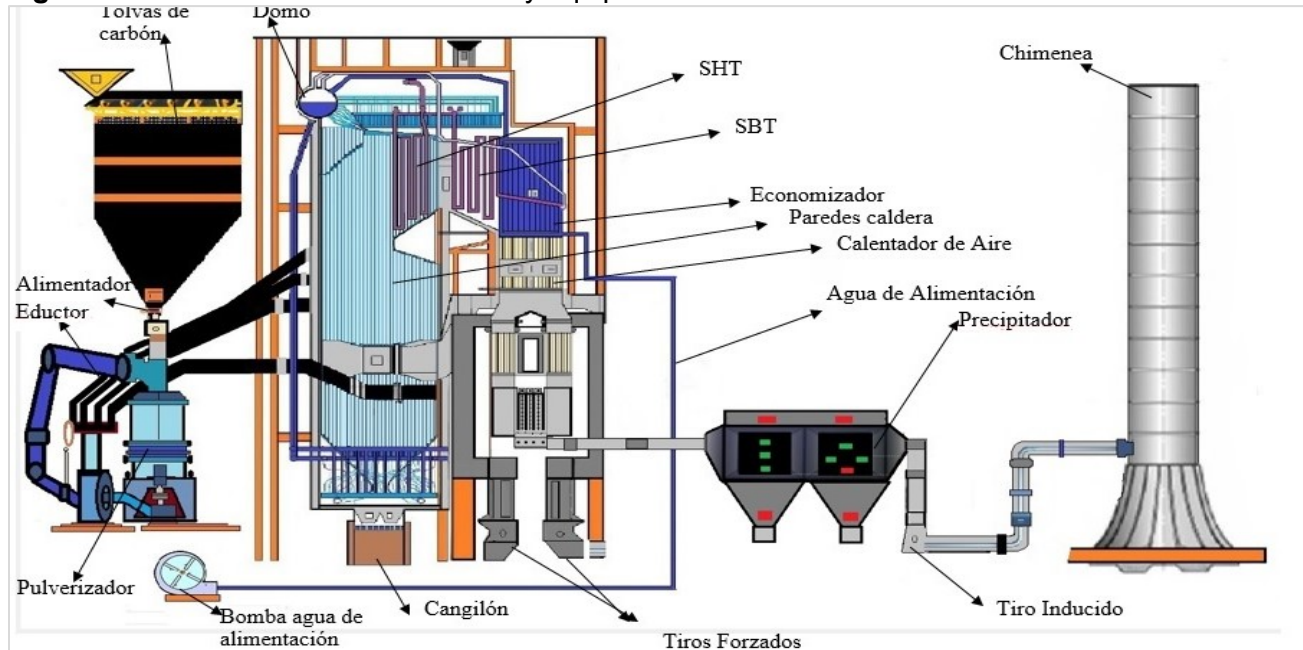
Fuente: GENSA S.A. ESP. Manual de procedimientos de operación Unidad I. Central Termoeléctrica de Paipa. 2019

El carbón pulverizado debe tener una fineza del 70% a través de malla 200 serie Tyler (tamaño de partícula 0.074mm) para una combustión óptima. Los ventiladores de aire están acoplados al engranaje que mueve la pista del molino frente a cada pulverizador de carbón, su función es impulsar el carbón desde los pulverizadores hasta los quemadores, la succión del ventilador toma aire caliente de la caja de aire y aire frío de la descarga de los ventiladores de tiro forzado, la cantidad de cada aire debe ser regulada para tener una temperatura óptima de la mezcla en la combustión. El calor producido por la reacción de combustión es aprovechado en la caldera para evaporar el agua y llevarla a vapor seco a alta presión y temperatura.

### 1.3.3.2 Caldera

Las calderas de alta presión de Termopaipa están compuestas básicamente por el hogar, conjunto de quemadores, domo, sobrecalentador de baja temperatura (SBT), sobrecalentador de alta temperatura (SHT), atemperador, economizador, precalentador de aire, ventiladores de tiro forzado, ventiladores de tiro inducido, precipitador electrostático, sopladores de hollín. (Ver figura 1-4) [5]

**Figura 1-4:** Circuito caldera Unidad I y equipos auxiliares



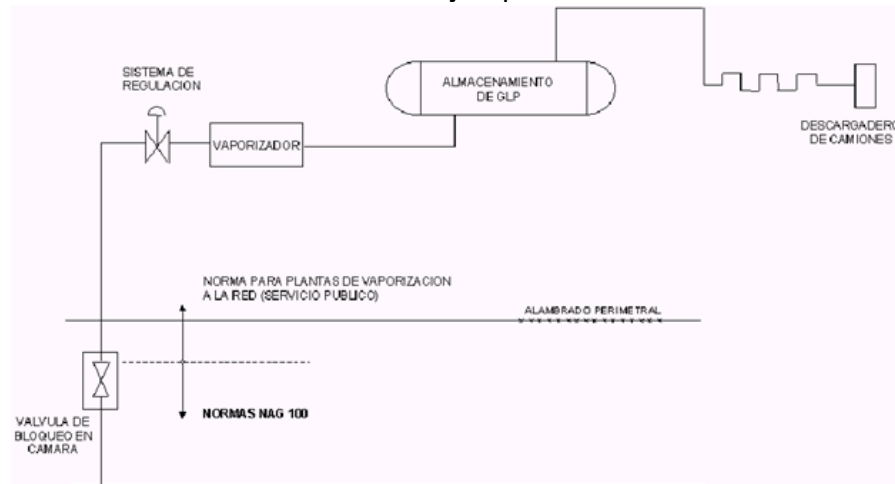
Fuente: GENSA S.A. ESP. Manual de procedimientos de operación Unidad I. Central Termoeléctrica de Paipa. 2019

**Hogar:** Es el lugar donde se produce la combustión, está constituido por paredes de tubos, formando una caja totalmente hermética, el fondo del hogar está abierto con el fin de recoger parte de las cenizas producidas por el carbón, termina en una tolva sumergida en agua de tal forma que hace sello hidráulico, con el fin de proteger la caldera en caso de una variación brusca de presión. [5]

**Encendido:** El encendido de la caldera (estado frío) se efectúa por medio de GLP (Gas Licuado del Petróleo), el cual se encuentra almacenado en un tanque con capacidad de 44370 galones de GLP líquido, el sistema cuenta con un vaporizador para convertirlo en

GLP gaseoso, para la salida del GLP hacia las unidades se cuenta con un regulador de presión, este está regulado a 14 psi. (Ver figura 1-5). [6]

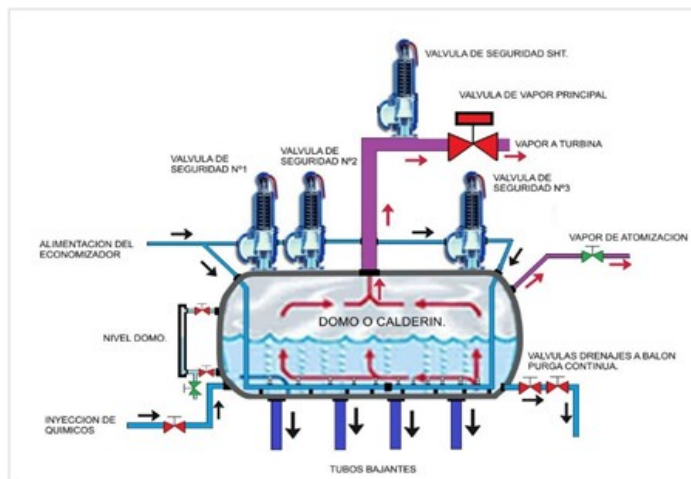
**Figura 1-5:** Sistema de almacenamiento y vaporización de GLP



Fuente: Unidad de servicios técnicos, Instructivo Código: DTP-002 UPRO, Gensa Termopaipa.

*Domo:* Recibe el agua de alimentación en estado líquido, allí se produce la evaporación y separación del agua y vapor, ya que el domo está conectado con las paredes del hogar por tuberías, en estas zonas se produce el intercambio de calor entre el combustible y el agua, el vapor del domo es enviado a los sobrecalentadores. (Ver figura 1-6) [5]

**Figura 1-6:** Domo o calderín



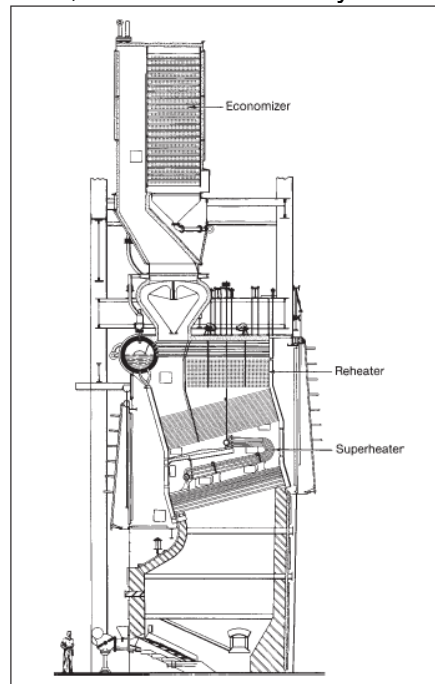
Fuente: GENSA S.A. ESP. Manual de procedimientos de operación Unidad I. Central Termoeléctrica de Paipa. 2019

**Sobrecalentadores:** El vapor que sale del domo es vapor saturado para darle características de vapor seco se hace pasar por una serie de tubos en U la primera serie de estos tubos se llama sobrecalentador primario o (SBT) el cual termina en un cabezal (tubo más grueso) de ahí sale a otra serie de tubos en U que se llama sobrecalentador secundario o (SHT) (Ver figura 1.7), donde adquiere sus condiciones o calidades para ser enviado a la turbina. Entre los dos sobrecalentadores hay una entrada de agua fría por medio de una boquilla de atomización llamado atemperador. Este es el elemento que nos garantiza tener un control sobre la temperatura final del vapor. [5]

**Ventiladores de tiro forzado:** Son los que llevan el aire de combustión a la caldera. Toman el aire de la atmósfera, lo llevan a través del calentador de aire hasta la caja de aire (que está ubicada alrededor de la caldera) para su inyección a la caldera y de esta forma contribuir a la combustión. [5]

**Calentador de aire:** Es un intercambiador de calor gas-gas, usado para recuperar el calor que arrastran los gases de combustión ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , aire, material particulado) estos gases transmiten parte de su calor al aire de los tiros forzados y de esta forma se aumenta la eficiencia de la caldera. [5]

**Figura 1-7:** Esquema caldera, sobrecalentadores y economizador





*Ventiladores de tiro inducido:* Se encargan de extraer los gases de combustión del hogar, llevarlos a través de los sobrecalentadores, economizador o haz de convección, calentador de aire, precipitador y finalmente conducirlos hasta la chimenea. [5]

*Haz de convección:* Formado por tubos, que van dispuestos en forma vertical u horizontal, por aquí circulan los gases de combustión y le transmiten también parte de su calor, que es aprovechado por éste para aumentar la temperatura de agua de alimentación. [5]

*Sopladores de hollín:* Debido al alto contenido de productos alquitranados en el carbón que se van depositando sobre las tuberías sometidas al fuego, formando capas que dificultan la transmisión de calor y pueden causar daños en la tuberías, se utilizan los deshollinadores, para limpiar las tuberías por medio de chorros de vapor saturado, los deshollinadores están montados en el hogar, zona de sobrecalentadores, economizador y precalentador de aire. [5]

*Precipitadores electrostáticos:* Una vez que los gases de combustión han ejecutado todo su trabajo térmico de ceder calor, es necesario extraer la ceniza para evitar la contaminación atmosférica. Los precipitadores constan de placas y electrodos, para atraer las partículas suspendidas (ceniza) por medio de ionización electrostática y retenerlas en las placas. [5]

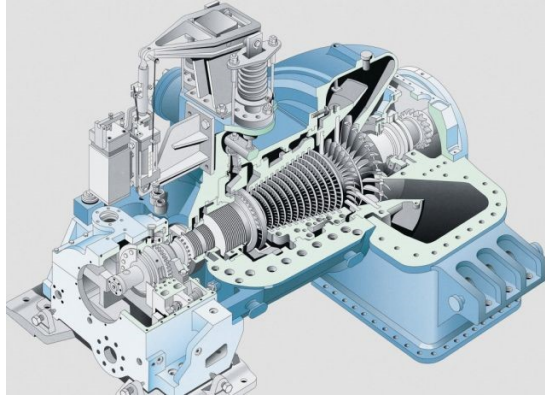
*Protección de caldera:* Toda caldera tiene una serie de seguridades que la protegen contra un daño, dichas seguridades son: Niveles de agua para evitar que el nivel suba o baje demasiado y pase agua líquida a los sobrecalentadores o quede la caldera sin agua. Válvulas de seguridad: protegen la caldera de una sobrepresión de vapor cuando se presente un disturbio. Seguridad Por Alta y Baja Presión: Cuando por un problema en la operación hay oscilación brusca en la presión del hogar, operan unos presóstatos los que originan el paro total de la caldera. Protección Falla Llama: existe una serie de detectores de llama ultravioleta e infrarrojo, que origina un paro total de la caldera en caso de que se apague el hogar. [5]

### **1.3.3.3 Turbina**

Es una máquina compuesta por un rotor con álabes dentro de un tambor o carcaza, en ella el vapor a alta presión y temperatura que viene de los SHT choca contra los álabes

generando que el rotor gire y convirtiendo la energía térmica del vapor en energía mecánica. (Ver figura 1-8) [8]

**Figura 1-8:** Vista interna de una turbina

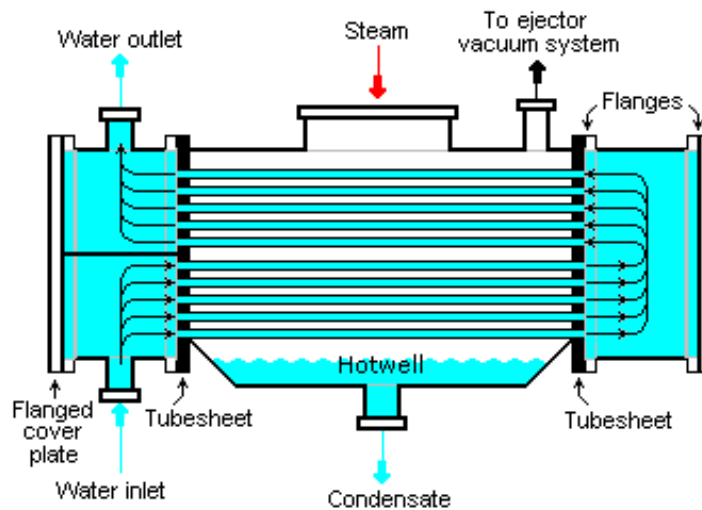


Fuente: <https://www.100cia.site/index.php/fisica/item/9722-cuales-son-las-partes-de-una-turbina-de-vapor>

#### 1.3.3.4 Condensador

Es un gran intercambiador de calor, compuesto por miles de tubos de bronce, conectados a dos caras en láminas de acero. Por el interior de los tubos circula agua fría, que es tomada las piscinas de enfriamiento. Por el exterior de los tubos del condensador circula vapor de baja presión, proveniente de la turbina, que al entrar en contacto con ellos le cede calor al agua de enfriamiento, produciendo su condensación. (Ver figura 1-9). [9]

**Figura 1-9:** Esquema de un condensador



Fuente: <https://technoindustria.wordpress.com/tag/condensadores-de-centrales-termoelectrica/>

### 1.3.3.5 Bomba de extracción

Las bombas de extracción de condensado, conducen el agua condensada a los recalentadores (R1 - R2) llegando a un desaireador, donde se extrae el oxígeno residual y el CO<sub>2</sub>, si los hay.

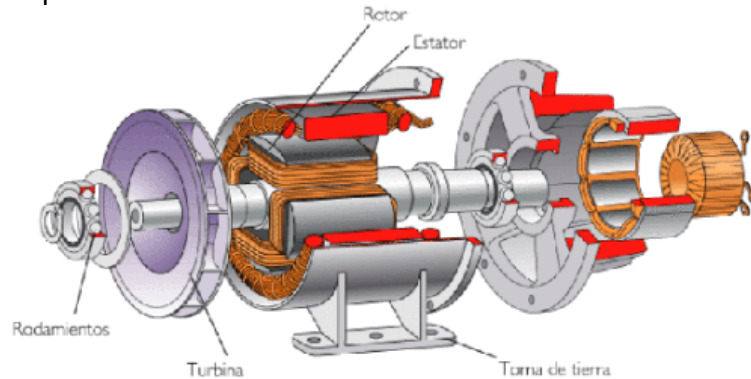
### 1.3.3.6 Tanque de alimentación

En este tanque llega el agua condensada y de reposición para ser enviada a la caldera pasando por los recalentadores (R4 - R5) con el fin de mejorar la eficiencia del ciclo.

### 1.3.3.7 Generador eléctrico o alternador

Es el encargado de convertir la energía mecánica transmitida por la turbina en energía eléctrica. Es una máquina sincrónica que gira a 3600 RPM, en una tensión (voltaje) generado de 13200 voltios. Como estos generadores deben trabajar en paralelo con otras Centrales, están dotadas de reguladores automáticos de tensión. (Ver figura 1-10). [10]

**Figura 1-10:** Esquema de un Generador eléctrico



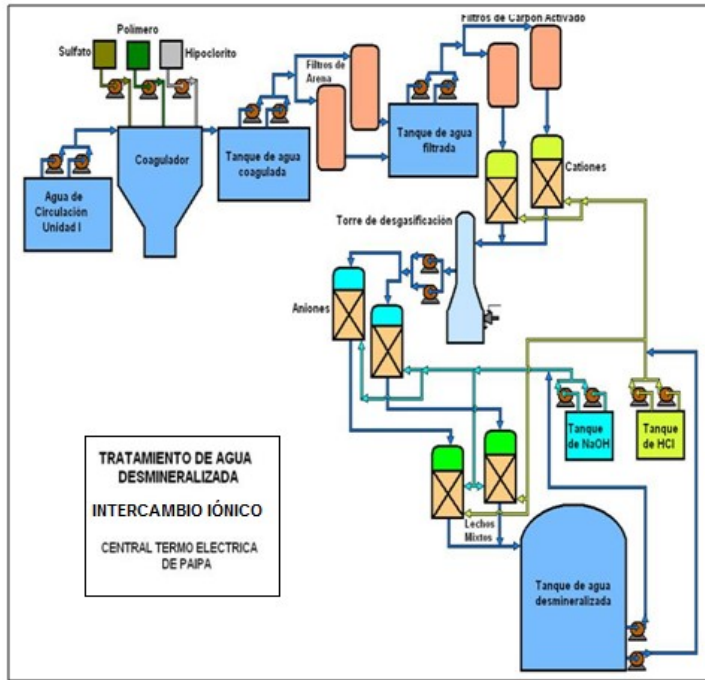
Fuente: <https://isladeva.wordpress.com/2009/10/13/esquema-alternador/>

### 1.3.3.8 Agua de alimentación

La fuente del agua es el río Chicamocha, que contiene materias orgánicas y minerales, pero para la generación de vapor el agua que se debe utilizar debe ser químicamente pura (H<sub>2</sub>O), para lo cual utilizan dos plantas de desmineralización por intercambio iónico y una planta de desmineralización por ósmosis inversa, para retirar sólidos suspendidos y

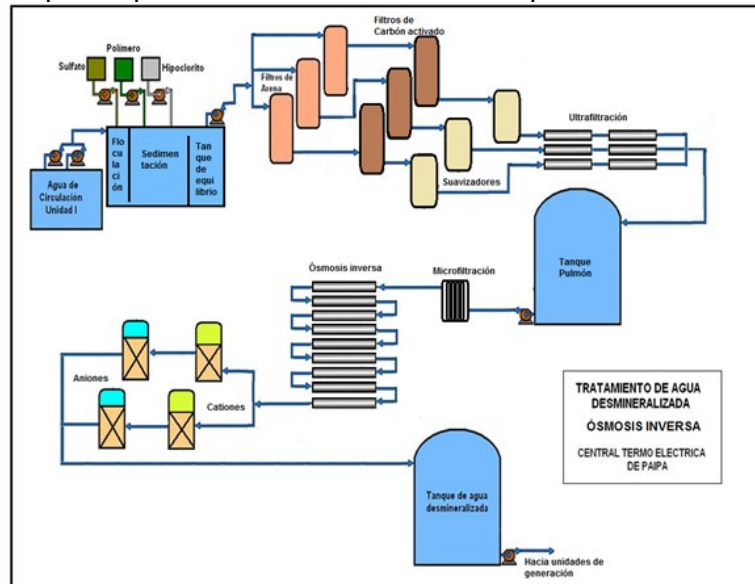
disueltos dando características de agua desmineralizada. Los tratamientos de agua y las características del agua desmineralizada se muestran en las figuras 1-11, 1-12 y 1-13 [11]

**Figura 1-11:** Esquema proceso de desmineralización por intercambio iónico



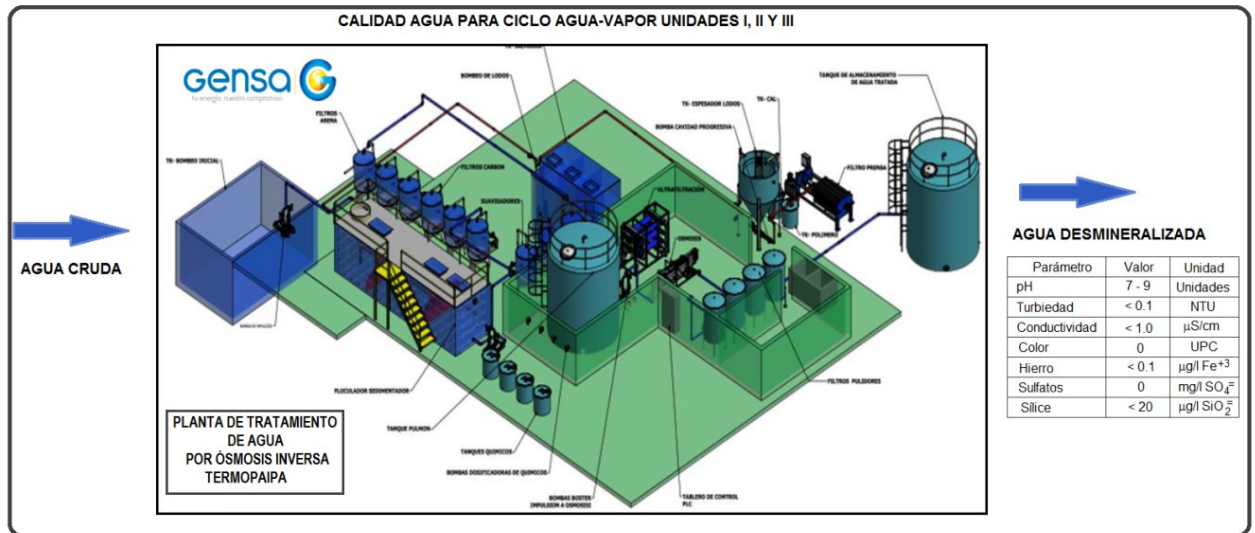
Fuente: GENSA S.A. ESP. Laboratorio químico

**Figura 1-12:** Esquema proceso de desmineralización por ósmosis inversa



Fuente: GENSA S.A. ESP. Laboratorio químico

**Figura 1-13:** Calidad de agua desmineralizada



Fuente: GENSA S.A. ESP. Laboratorio químico

## 1.4 Certificaciones internacionales del actuador seleccionado

El actuador cuenta con certificaciones internacionales contra atmosferas con riesgo de explosión, es ideal para ambientes donde haya presencia de polvillo de carbón u otros componentes en el ambiente que represente un peligro de explosión. (ver Figura 2-3)

Dentro de las certificaciones que acreditan al actuador se encuentra:

ATEX, IECEX, EAC, INMETRO, KOSHA, CSA, UL, IP66

### 1.4.1 Certificación ATEX

ATEX es un sinónimo de uso en común para las directivas de ATEX de la unión europea. El nombre se deriva del término francés "ATmosphereEXplosive". La diferencia abarca las directivas de protección contra explosiones 2014/34/ UE para equipos y 1999/92/ CE para áreas de trabajo. Las directivas ATEX son diseñadas por el director general de la comisión de la EU Empresa e industria en cooperación con los estados miembros, las organizaciones de estandarización (CEN, CENELEC) y los llamados Organismos Notificados como BAM, PTB o TUEV para nombrar ejemplos de Alemania. [12]

### **1.4.2 Certificación IECEx**

Es un proceso utilizado internacionalmente para certificar equipos eléctricos utilizados en ubicaciones peligrosas. El código define un sistema para clasificar ubicaciones de atmosferas potencialmente explosivas causadas por gases, polvos o fibras, por ejemplo. El objetivo principal de la comisión electrotécnica Internacional IEC con la regulación IECEx es alcanzar la armonización global de los códigos que rigen el uso de aparatos eléctricos en lugares peligrosos. IEC promueve la aceptación mutua de evaluaciones e informes entre los laboratorios de pruebas y los organismos de certificación. [12]

### **1.4.3 Certificación EAC (TR-CU-EX)**

En el contexto de la unión aduanera compuesta por Rusia, Bielorrusia y Kazajstán, se introdujeron continuamente nuevas normas técnicas desde el 12 de junio de 2012 para crear una economía común. Esto también afecta a los equipos destinados a ser utilizados en atmosferas potencialmente explosivas. Como parte de este cambio, el certificado de protección contra explosiones GOST-R fue reemplazado por el nuevo reglamento técnico TR CU 012/2011 "sobre seguridad de los equipos para su uso en atmosferas potencialmente explosivas. [12]

### **1.4.4 Certificación INMETRO**

(Instituto de metrología, Normalización y Calidad Industrial) de Brasil es el organismo gubernamental responsable de la implementación de estándares de medición seguridad y calidad para productos eléctricos y electrónicos. Guía las actividades de los organismos de acreditación, inspección, prueba y certificación en el país. [12]

### **1.4.5 Certificación KOSHA**

La agencia de seguridad y salud ocupacional de corea (KOSHA) tiene como objetivo contribuir a la economía nacional manteniendo y mejorando las condiciones de seguridad y salud en el trabajo a través de la implementación eficiente de proyectos como investigación y desarrollo, promoción de tecnologías de prevención de accidentes industriales, provisión técnica de asistencia y capacitación en seguridad y salud ocupacional, inspección de instalaciones y equipos peligrosos. [12]

### 1.4.6 Certificación CSA

Es un proveedor global de servicios de prueba y certificación, CSA también está en lista de OSHA de laboratorios de prueba reconocidos a nivel nacional NRTL. [12]

### 1.4.7 Certificación UL

Es una organización independiente que prueba certifica productos con respecto a la seguridad, UL prueba y evalúa el cumplimiento de productos, componentes, materiales y sistemas con respecto a requisitos específicos. Como resultado, marca UL puede llevarse siempre que se cumplan las normas, UL es uno de los laboratorios de pruebas avalados por OSHA, OSHA es la administración de seguridad y salud ocupacional y mantiene una lista de laboratorios llamada NRTL, abreviatura de laboratorios de prueba reconocidos a nivel nacional. [12]

### 1.4.8 Estándar de protección IP (*Ingress Protection*).

El sistema de clasificación IP (Ingress Protection) es una forma de identificar el grado de protección de los materiales. Este estándar de protección hace referencia a la norma internacional CEI 60529 Degrees of Protection e indica los grados de protección en sólidos, como podría ser el polvo, o líquidos como el agua. [12]

Así pues, si un material cuenta con este tipo de estándar de protección, según como esté especificado tendrá protección contra unas circunstancias u otras. El sistema es reconocido en la mayoría de los países y consta de tres cifras XYZ: protección contra sólidos, protección contra líquidos y protección contra impactos mecánicos.

Estas son las tablas que la norma CEI60529 establece para los diferentes dígitos IP. (ver Tablas 1-2 y 1-3)

**Tabla 1-2:** Norma CEI60529 Primer dígito (X) Sólidos: [13]

Nivel	Tamaño de objeto entrante	Efectivo contra
0		Sin protección
1	<50 mm	Una esfera de 50 mm no puede entrar por completo
2	< 12,5 mm	Una esfera de 12,5 mm no puede entrar por completo
3	< 2,5 mm	Una esfera de 2,5 mm no puede entrar por completo
4	< 1mm	Una esfera de 1 mm no puede entrar por completo
5	Protección contra el polvo	Protección estándar contra el polvo
6	Protección fuerte contra el polvo	El polvo no entra bajo ninguna circunstancia

Fuente: <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/estandares-de-proteccion-ip-y-nema-guia-practica/>

**Tabla 1-3:** Norma CEI60529 Segundo dígito (Y) Líquidos: [13]

Nivel	Protección frente a
0	Sin protección
1	Goteo de agua
2	Goteo de agua
3	Agua nebulizada
4	Chorros de agua
5	Chorros de agua
6	Chorros potentes de agua
7	Inmersión completa de agua
8	Inmersión completa y continua en agua
9K	Potentes chorros de agua a alta temperatura

Fuente: <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/estandares-de-proteccion-ip-y-nema-guia-practica/>

Así pues, si nos encontramos con un estándar de protección IP 00, tendremos un material sin ningún tipo de protección. En cambio, si tenemos un material con el estándar de protección IP 69K, tendremos la máxima protección posible con una protección fuerte contra el polvo y protección frente a potentes chorros de agua a alta temperatura. Como mayor es la numeración del estándar de protección, mayor protección ofrece el material.

### 1.4.9 Estándar de protección NEMA (National Electrical Manufacturers Association).

La National Electrical Manufacturers Association (NEMA) es una organización de normalización en Washington, EE.UU., que publica una serie de estándares técnicos, ella misma no ensaya ni certifica productos.

En la tabla 1-4 se presenta la clasificación NEMA y hace referencia básicamente a la protección de personas contra el contacto involuntario con objetos del equipo, así como a la protección frente a influencias externas sobre un armario. [13]

**Tabla 1-4:** Clasificación estándar NEMA

Grado de protección	Descripción
NEMA 1	Instalación interior, protege contra la caída de suciedad



Grado de protección	Descripción
NEMA 2	Instalación interior, protege contra la caída de suciedad y el goteo de agua
NEMA 3	Instalación exterior, protege contra lluvia, aguanieve y polvo transportado por el viento; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario
NEMA 3R	Instalación exterior, protege contra lluvia, aguanieve: además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario
NEMA 3S	Instalación interior o exterior, protege contra lluvia, aguanieve y polvo transportado por el viento; además, los mecanismos externos permanecen operativos a pesar de la formación de hielo
NEMA 4	Instalación interior o exterior, protege contra el polvo transportado por el viento y la lluvia, salpicaduras de agua y agua proyectada; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario
NEMA 4X	Instalación interior o exterior, protege contra el polvo transportado por el viento y la lluvia, salpicaduras de agua, agua proyectada y corrosión; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario
NEMA 5	Protección interior contra caída de suciedad, acumulación del polvo del aire ambiental, así como contra el goteo de líquidos no corrosivos
NEMA 6	Protección interior o exterior contra caída de suciedad, chorro de agua y entrada de agua a causa de la inmersión parcial, limitada a una profundidad determinada; así como protección contra daños provocados por la formación de hielo

Grado de protección	Descripción
NEMA 6P	Protección interior o exterior contra proyección de agua y entrada de agua a causa de la inmersión prolongada a una profundidad determinada; así como protección contra daños provocados por la formación de hielo
NEMA 12	Protección interior contra caída de suciedad, acumulación del polvo del aire ambiental, así como contra el goteo de líquidos no corrosivos.
NEMA 13	Protección interior contra polvo, caída de suciedad, salpicaduras de agua y aceite, así como medios refrigerantes no corrosivos

Fuente: <https://www.rittal.com/es-es/content/es/support/technischeswissen/qminformiert/schutzarten/nema/nema1.jsp>

Las normas IP y nema anterior mente nombradas son importantes en aplicaciones industriales para promover la seguridad, mejorar la eficiencia de los diseños cumplir con normas y certificaciones a las que las empresas están certificadas. Además, se pueden adaptar según sea la aplicación o el proyecto que se quiera realizar o ambientes de trabajos donde existan alto riesgo para equipos y cableados eléctricos.

## 1.5 Control Industrial

El control industrial es el encargado de agregarle inteligencia a uno o varios procesos del sector industrial, es ideal la implementación para aquellos procesos donde haya generación de energía eléctrica a gran escala, o en aquel lugar donde se necesite estar pendiente del proceso las 24 horas del día.

Existen diferentes clases de control los más conocidos a nivel industrial tenemos al control SCADA (control de supervisión y adquisición de datos) y al DCS (Sistema de control distribuido)

SCADA: un acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), es un sistema de elementos de software y hardware que permite a las industrias:

Controlar los procesos industriales localmente o a distancia

Monitorizar, recopilar y procesar datos en tiempo real

Interactuar directamente con dispositivos como sensores, válvulas, bombas, motores, señales de tráfico, etc., a través del software de interfaz hombre-máquina (HMI)

Grabar eventos en un archivo de registro

Los sistemas de software scada son cruciales para los procesos industriales, ya que ayudan a mejorar en eficiencia, procesar datos para tomar decisiones más inteligentes, y a avisar de los problemas del sistema para ayudar a reducir el tiempo de inactividad.

La arquitectura básica del sistema SCADA comienza con controladores lógicos programables (PLC) o unidades de terminal remotas (RTU). Los PLC y RTU son microordenadores que se comunican con una gran variedad de objetos, como máquinas, HMI, sensores y dispositivos, y luego redirigen la información desde esos objetos a los ordenadores con el software SCADA. [14]

*DCS*: es un sistema de sensores, controladores y computadoras asociadas que se distribuyen en una planta. Cada una de estos elementos tienen un propósito único, como la adquisición de datos, el control de procesos, así como el almacenamiento de datos y la visualización grafica. Estos elementos individuales se comunican con una computadora centralizada a través de la red de área local de la planta, a menudo denominada red de control. Como el cerebro central de la planta, el DCS toma decisiones automatizadas basadas en tendencias de producción y las ve en tiempo real en toda la planta.

Las soluciones DCS ofrecen ahora una mayor escalabilidad como alternativa a PLCs en algunas aplicaciones de planta. Los nuevos sistemas son modulares y altamente flexibles, lo que facilita su adaptación a una determinada aplicación y permite desplegar un DCS para responder a las necesidades de una aplicación de control cualquiera sea su tamaño, mientras preserva los beneficios para el usuario final.

La actual generación de soluciones de control ofrece:

Todas las características básicas que se esperan de un DCS, además de facilitar el control y la optimización de toda la planta;

Escalabilidad junto a arquitecturas modulares para adaptarse exactamente a los requerimientos de una aplicación;

Arquitecturas abiertas, habilitadas por la información y seguras;

Flexibilidad en la entrega y soporte del sistema. [15]

## **Capítulo 2. Desarrollo metodológico**

### **2.1 Funcionamiento previsto del diseño e implementación del posicionador**

Para el diseño del posicionador se tuvo en cuenta que su función es la de controlar la posición de una válvula de mariposa aproximadamente de 20" de diámetro, abriendo y cerrándola de acuerdo a la necesidad del proceso de generación y a la orden que dé el operario, contribuyendo así a la mejora continua de los procesos.

El funcionamiento óptimo del posicionador es:

Controlar la válvula en cualquier posición que se necesite en un rango de 90°.

Soportar el peso de la compuerta y el flujo de aire para mantenerla en un punto deseado por el operador.

La posición de la válvula debe ser visualizada por un operador que se encuentra en el cuarto de control.

La ubicación del posicionador es en el pulverizador de carbón número 1 unidad 1 Termopaipa

## 2.1 Análisis del sistema

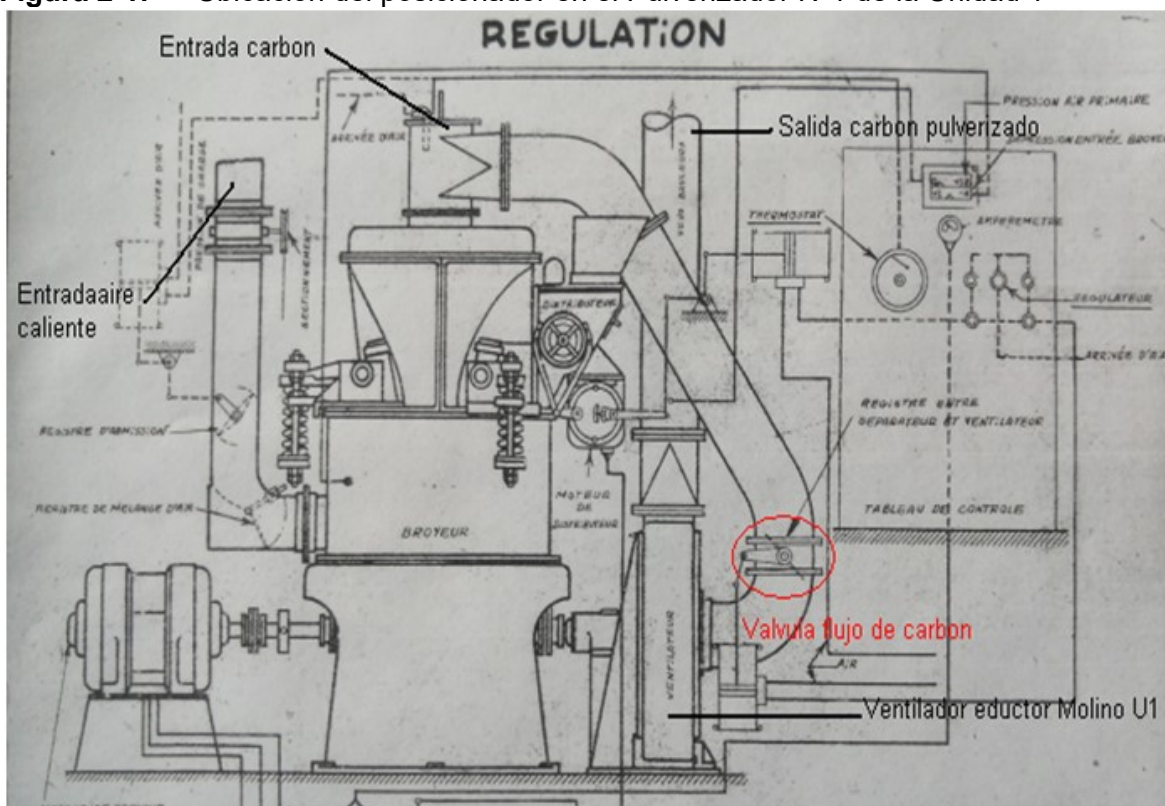
Inicialmente para el diseño del posicionador se buscó un sistema de control de posición y adecuación mecánica el cual cuenta con dispositivos electrónicos que permiten realizar la medición y control de la posición en tiempo real.

Se seleccionaron los materiales y se buscó la mejor ubicación del posicionador en el pulverizador y la adecuación mecánica necesaria para su instalación sobre la compuerta.

### 2.1.1 Ubicación del posicionador

El posicionador se ubicó en la salida de carbón del eductor del pulverizador número 1 hacia la caldera, en el área de los pulverizadores de carbón de la unidad 1 de Termopaipa, en este lugar se encuentra ubicada la válvula a controlar. En la Figura 2-1 se observa la ubicación del posicionador. Para colocarlo se requirió de una pasarela metálica para su anclaje, reutilizando el acople mecánico de la compuerta.

**Figura 2-1:** Ubicación del posicionador en el Pulverizador N°1 de la Unidad 1



### 2.1.2 Criterios para la selección de dispositivos

- El principal criterio es la fuerza que ejerce el flujo de aire sobre la compuerta, debido a que el posicionador debe soportar esa fuerza y evitar las oscilaciones que pueden perturbar el sistema.
- Por la presencia de polvillo de carbón y conexiones eléctricas en el área donde está la válvula es indispensable que el posicionador tenga protección antiexplosión.
- Debido a que la unidad 1 cuenta con un DCS (Sistema de control discreto) que maneja señales análogas, la señal de control del posicionador debe ser de 4-20 mA.
- La apertura de la válvula es de 90°, por lo que el actuador debe permitir controlar 90°.

### 2.1.3 Selección del actuador

Se analizaron tres opciones a saber:

- Un servomotor con movimiento rotacional eléctrico
- Un servomotor con movimiento lineal neumático
- Actuador y posicionador Rotorksischekel

**Tabla 2-1:** Criterios selección del actuador

Criterio	Servomotor eléctrico	Servomotor neumático	Actuador y posicionador Rotorksischekel
Que soporte más de 100 N/m	Sí	Sí	Sí
Protección antiexplosión	No	Sí	Sí
Señal de control	Permite configuración	Señal de presión	4 - 20 mA
Rango de apertura	0-320°	30 cm y requiere adaptación mecánica para dar los 90°	0 - 95°

Para el cálculo de fuerza que se observa en la tabla 2-1 se realizaron pruebas con un torquímetro sobre el vástago de la válvula para saber la cantidad de fuerza que se necesitaba ejercer al momento de abrir la válvula (ver figura 2-2). El resultado fue de 250 lb/ft (libras por pie de fuerza). Procedemos hallar el torque que necesita realizar el actuador para el criterio de selección.

Primero se realizó una regla de tres para hacer la conversión de unidades lb/ft a N/m, después hallamos el torque

$$1 \frac{N}{m} = 0,737562 \frac{lb}{ft}$$

$$x \frac{N}{m} = 250 \text{ lb/ft}$$

$$x = \frac{250 \frac{lb}{ft} * 1 \text{ N/m}}{0,737562 \text{ lb/ft}} \quad x = 338,95 \text{ N/m}$$

$$\text{Torque} = \text{Fuerza} * \text{longitud brazo válvula} * \text{sen } \alpha$$

Sen  $\alpha$  = Angulo formado por Fuerza y la Varilla que va hasta el actuador es de 90°

$$T = 338,95 \frac{N}{m} * 0,3 \text{ m} * \text{sen } 90^\circ$$

$$\mathbf{T = 101,4 \text{ N/m}}$$

**Figura 2-2:** Prueba con torquímetro sobre la válvula de flujo de carbón



Fuente: El autor

Se puede observar que el torque a realizar en la válvula de flujo de carbón es un torque pequeño en comparación a otros sistemas que se utilizan dentro de esta empresa. El torque que se esta ejerciendo es comparable con el torque que se ejerce a diario por una persona que sale a montar en bicicleta.

Un ciclista promedio está ejerciendo 4,5 watts por kilogramo [16], si tenemos en cuenta la estatura promedio en Colombia es de 172cm y decimos q esa persona mantiene su peso ideal, sería de 72, podemos realizar el siguiente análisis.

Total, watts = 4,5 \* peso del ciclista

$$T_w = 4.5 * 72$$

$$T_w = 324 \text{ watts}$$

Realizando la conversión de watts a Newton tenemos lo siguiente:



$$1 \text{ Watts} = 1 \frac{\text{julio}}{\text{s}}$$

$$1 \frac{\text{julio}}{\text{s}} = 1 \text{ N/m}$$

$$324 \text{ watts} = 324 \text{ N/m}$$

$$T = 324 \frac{\text{N}}{\text{m}} * \text{longitud brazo valvula}$$

$$T = 324 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0.3\text{m}$$

$$T = 97,2 \text{ N/m}$$

La diferencia de torque seria 4 Newton, es una fuerza mínima para el sistema, por tal motivo no se realizo un análisis de esfuerzo de la estructura mecánica diseñada.

Con base en los criterios de selección se concluye que el actuador y posicionador cumple satisfactoriamente con lo requerido y se seleccionó para controlar la válvula, además tiene alta seguridad en ambientes explosivos. Otro aspecto importante por el cual se eligió este actuador es porque permite configurar su torque y la velocidad de apertura - cierre del actuador. En la figura 2-2 se aprecia la imagen del actuador seleccionado. [16]

**Figura 2-3:** posicionador y actuador Rotorschischekel



## 2.2 Descripción del posicionador y requerimientos

### 2.2.1 Conexión de potencia

Para alimentar el posicionador se cuenta con 2 Breaker, uno con corriente nominal de 20A y otro de 15A, la alimentación se tomó desde el Breaker del transformador de alumbrado, esta alimentación es de 240 VAC, la cual se ajusta al requerimiento del Posicionador, ya que puede tener una alimentación desde 24 V a 240V, ya sea en AC o DC.

**Caja de bornes adaptable:** Es un accesorio del posicionador y viene con protección antiexplosión, esta caja se utiliza para la conexión eléctrica del actuador, ver figura 2-3. [16]

**Figura 2-4:** Caja de bornes



Fuente: [http://www.schischek.com/pdf/products/InBox\\_en.pdf](http://www.schischek.com/pdf/products/InBox_en.pdf)

Las características del actuador y posicionador se listan en la tabla 2-2 [16]

**Tabla 2-2:** Características del actuador y posicionador

DATOS TECNICOS	iNmAX TALLA M
Par fuerza	30-150 N/m
Frecuencia	50-60 Hz
Angulo de rotación	95°
Tiempo de funcionamiento motor	40,60,90,120,150 seg/90°
Modo de control	Encendido-Apagado,0-10V CC, 4-20mA
retroalimentación	0-10V CC, 4-20mA
Conexión de eje cuadrado	16 x 16 mm

<b>Protección de la carcasa</b>	IP66
<b>Temperatura ambiente</b>	-40, +50°Celsius
<b>Fuente de alimentación, autoadaptable</b>	24-240V CA /CC
<b>Peso</b>	15kg
<b>Área de instalación</b>	Áreas seguras

## 2.2.2 Módulos de entrada y salida análoga

Estos módulos son los encargados de manejar las entradas y salidas de datos, es decir, tienen el trabajo de intercomunicar las señales de 4-20 mA del posicionador hacia el control de la unidad y en sentido. Los módulos de entrada y salida son señales análogas.

### 2.2.2.1 Módulo de salida análoga ABB AO810V2

Este módulo es utilizado por el control para transmitir una señal de apertura o cierre al actuador, esta señal puede ser de voltaje o de corriente, en este proyecto se ajustó a corriente, el módulo maneja 10 canales de salidas para transmitir señales a más de un actuador, del cual se utilizó uno para el actuador, dejando disponible para modernizar el resto de los alimentadores de la unidad.

El módulo tiene una base o unidad compacta de terminación TU810V1, que es una unidad pasiva donde se conecta el cableado del campo a los módulos de entradas o salidas. (Ver figura 2-4). [17]

**Figura 2-5:** Módulo de salida AO810V2 Unidad compacta TU810V1



Las características del módulo de salida se listan en la tabla 2-4. [17]

**Tabla 2.4:** Características módulo de salida

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>AI810 ANÁLOGA ENTRADA</b>
<b>Número de canales</b>	8
<b>Rango de salida</b>	0....20mA, 4...20mA
<b>sobre el rango</b>	15%
<b>impedancia de entrada (voltaje entrada)</b>	290k ohm
<b>Carga de salida</b>	500 ohm, 250-850 ohm
<b>Longitud máxima del cable de campo</b>	600 metros
<b>voltaje de entrada máximo no destructivo</b>	30V Dc
<b>error</b>	Max 0.1%
<b>Resolución</b>	14 bit
<b>Consumo del modulo 24V</b>	200mA (max)
<b>Fuente de alimentación</b>	Del proceso
<b>Poder de disipación</b>	2.3 W

### 2.2.2.2. Módulo de entrada análoga ABB AI810V1

Este módulo de entrada análoga es el vínculo entre el actuador y el PLC de control de la Unidad 1, es configurable para medir voltaje o corriente de control o ambos, también se configuró para medir corriente.

Este módulo también cuenta con una base o unidad compacta para realizar la conexión de los dispositivos a controlar. La unidad compacta de terminación es la misma que la de salida. (ver figura 2-4). Las características de este módulo se listan en la tabla 2-3. [17]

**Tabla 2-3:** Características modulo entrada [17]

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>AI810 ANÁLOGA ENTRADA</b>
<b>Número de canales</b>	8
<b>rango de medición</b>	0...20ma, 4...20mA, 0...10V, 2...10V
<b>bajo /sobre el rango</b>	-5%
<b>impedancia de entrada (voltaje entrada)</b>	290k ohm

<b>impedancia de entrada (corrientes de entrada)</b>	230.....275 ohm
<b>Longitud máxima del cable de campo</b>	600 metros
<b>voltaje de entrada máximo no destructivo</b>	30V Dc
<b>error</b>	Max 0.1%
<b>Resolución</b>	12 bit
<b>Consumo del modulo 24V</b>	200mA (max)
<b>Fuente de alimentación</b>	Del proceso
<b>Poder de disipación</b>	1.5W

### 2.2.3 Tubería

Para proteger el cableado de control y el de alimentación del actuador de posibles golpes, áreas presionadas y ruidos eléctricos, se instaló una tubería galvanizada de ¾", el cableado de control se instaló en tubería para entrada y salida de forma independiente. La tubería tiene accesorios como codos y conoletas, se ajustó a la pared en algunas zonas y en otras fue necesario colocar estructura para sostenerla. Las características de la tubería se listan en la tabla 2-4

**Tabla 2-4:** Características de la tubería galvanizada

<b>Característica tubo galvanizado</b>
Tubo en acero
cubierto en zinc para evitar corrosión
alta fuerza
gran firmeza
gran durabilidad
resiste cambios extremos de temperatura
resistente a la presión de elementos destructivos

**Figura 2-6:** Tubería y accesorios instalados



Fuente: Autor

### 2.2.4 Flexiconduit

Este se utilizó para la conexión hasta el actuador, y tiene como objetivo proteger el cable ante calor, polvo y golpes donde se pueda estropear. (Ver foto2-2). Las características del flexiconduit se listan a continuación:

- Cumple con RETIE
- Compatible con adaptadores terminales y uniones convencionales
- Exclusivo sistema de uniones y adaptadores terminales de acople rápido que facilitan la instalación
- Garantizan resistencia a tensiones de más de 80Kg, cumpliendo con los requisitos de estándares nacionales
- Está garantizado para instalaciones eléctricas y telefónicas en paredes, cielos rasos

**Figura 2-7:** Instalación con tubería y flexiconduit



Fuente: Autor

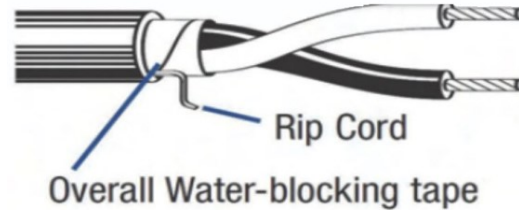
### **2.2.5 Cable para instrumentación**

Se seleccionó un cable con apantallamiento indicado para evitar ruido en la señal de control, (ver figura 2-5) [18], las características del cable se listan a continuación:

- Temperatura máxima de operación: 90°C en lugares secos y 75°C en lugares mojados.
- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Excelente resistencia a aceites y agentes químicos.
- Resistente a la luz solar (SR).
- Larga vida útil.
- Hilo de rasgado.
- Pantalla general (OverallShielded).
- Aptos para instalar en bandejas porta cables.

Disponibles en colores blanco/negro (2 conductores) y blanco/negro/rojo (3 conductores).

**Figura 2-8:** Cable de instrumentación



Fuente: <https://www.risoul.com.mx/productos-belden>

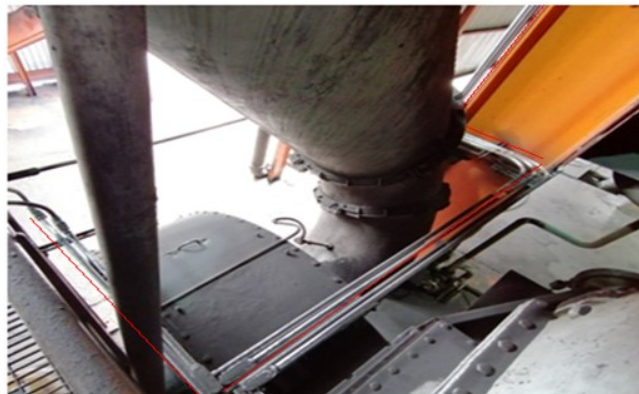
## 2.3 Instalación y puesta en marcha del posicionador y actuador

### 2.3.1 Tubería y cableado

Se instaló la tubería para el voltaje de potencia del actuador desde los disyuntores de la unidad 1 en el piso 9:50, hasta los molinos en planta baja piso cero, a una caja de protecciones con breaker. Esta línea se cableo sola para evitar que pudiera transmitir ruido a la señal de control. De la caja de protecciones se instaló tubería hasta el actuador en el molino 1 de la unidad 1. La tubería para la señal de control se instaló desde los gabinetes de control ABB en el piso 12:50 hasta el molino 1 en el piso cero.

En las siguientes figuras se observa la instalación de la tubería en el sitio de trabajo, está delimitada por una línea roja que indica la tubería que lleva la señal de control hacia los módulos de control. (ver figuras 2-8, 2-9, 2-10)

**Figura 2-9:** Instalación tubería de control



Fuente: Autor



**Figura 2-10:** Salida de los módulos de ABB hacia el actuador



Fuente: Autor

**Figura 2-11:** Tubería de potencia en el molino



Fuente: Autor

**Figura 2-12:** Acercamiento tubería de potencia en molino hacia actuador

Fuente: Autor

**Figura 2-13:** Ubicación del actuador

Fuente: Autor

### 2.3.2. Tablero de potencia

El tablero de potencia se instaló con los respectivos breakeres de protección contra sobre corrientes del sistema, se cuenta con una caja de protección IP66, un primer breaker de 15 Amperios que es el que distribuye la tensión para cada uno de los elementos que se encuentran conectados a la caja, y un segundo breaker de protección de 2 Amperios. Y en la parte inferior se puede observar el barraje a tierra de la caja de distribución. (Ver figura 2-13)

**Figura 2-14:** Caja de distribución potencia y actuador



Fuente: Autor

Después de haber realizado la instalación de la tubería se extendió tanto el cable de control como el cable de potencia por cada una de las correspondientes tuberías, con esta parte se tendría listo el sistema de cableado de potencia y control del actuador.

## 2.3.3 Adecuación mecánica para el posicionador y actuador

### 2.3.3.1 Acoples mecánicos

Para realizar el acople mecánico del actuador hacia la compuerta se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Se acopló el vástago de la compuerta hasta el actuador.
- Se acondicionó un sistema de palancas para acoplar el vástago al actuador con el fin de que el actuador transmita el movimiento hasta la válvula.
- Se acopló el actuador en una estructura rígida, de tal forma que no interfiere con la válvula y no causa interferencias en los mantenimientos de los molinos.

Se diseñó una base en acero donde se empotra en las rejillas de la plataforma del molino realizando el anclaje de esta base, sobre un lado de la base van 4 tornillos pasantes, estos son para poder soportar el posicionador a la base que ya está empotrada, el lado donde está puesto el posicionador lleva un corte horizontal, con el fin de poder dejar libre el vástago del actuador que es el encargado de realizar el movimiento para controlar la válvula. (ver Figura 2-14)

**Figura 2-15:** Adecuación mecánica para el posicionador y actuador



Fuente: Autor

Para acoplar el actuador a la válvula se utilizó la varilla que existía para controlar manualmente la apertura, fue necesario soldar en la punta otra varilla para llegar del actuador a la válvula, esas dos partes se unieron por medio de una rótula en acero inoxidable, la cual permite el movimiento simulando un brazo. (Ver figuras 2.15 y 2-16).

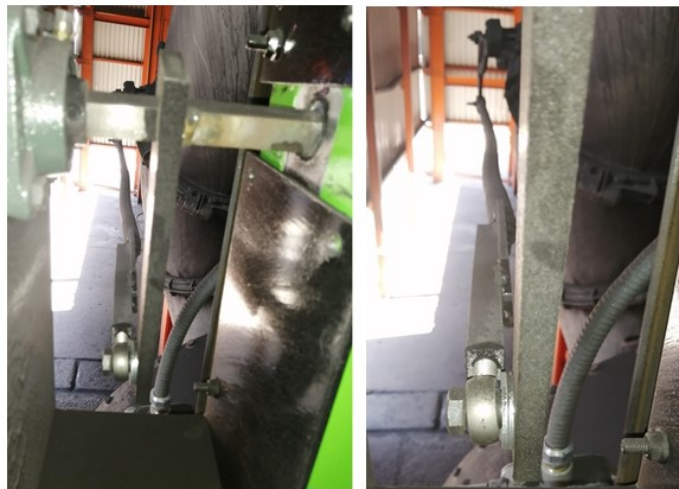
El tipo de soldadura que se utilizó fue 7018, esta soldadura es de las más utilizadas a nivel industrial ya que es resistente a grandes esfuerzos mecánicos, se emplea en fabricación de edificios y puentes en general. Bajo normatividad esta certificada para soportar tensiones de 490 MPa o 70.000 psi gracias a sus composiciones químicas. [19]

**Figura 2-16:** Varilla para transmitir movimiento a válvula vista superior



Fuente Autor

**Figura 2-17:** Varilla para transmitir movimiento a válvula vista inferior



Fuente Autor

Para realizar este acople se decidió reutilizar el brazo mecánico con el que antes el operador movía la compuerta, ya que estaba acoplado directamente a la válvula y el desarme del brazo hacia el posicionador es bastante sencillo, se acondicionó así para futuros mantenimientos a la válvula. Para terminar de realizar el acople entre el brazo que tenía la válvula y el posicionador se decidió soldar [19] a la punta del brazo anterior la Rotula en acero inoxidable con roscado hembra. Este acople permite movimientos sin que ocurra desgaste entre las partes metálicas gracias a su rótula interna y a la combinación de sus materiales. (Ver figura 2-17)

**Figura 2-18:** Rotula en acero inoxidable



Fuente: Autor

La rótula tiene las siguientes características [20]:

- Hecha en acero inoxidable, y bronce en el cojinete.
- No precisa mantenimiento gracia a los materiales en los que está construida.
- Resistente a la corrosión y químicos.
- Permiten combinación de movimientos de rotulas.
- Permiten movimiento giratorio cilíndrico en un plano.
- Capaz de compensar desviaciones por malas alineaciones.

### 2.3.4 Instalación módulos de entradas y salidas

Para la instalación en los módulos de entrada y salida se utilizó el gabinete donde estaban montados los anteriores módulos de control de la unidad 1, este gabinete ya contaba con rieles para la instalación de los módulos y espacio para montar los nuevos. (Ver figura 2-9)

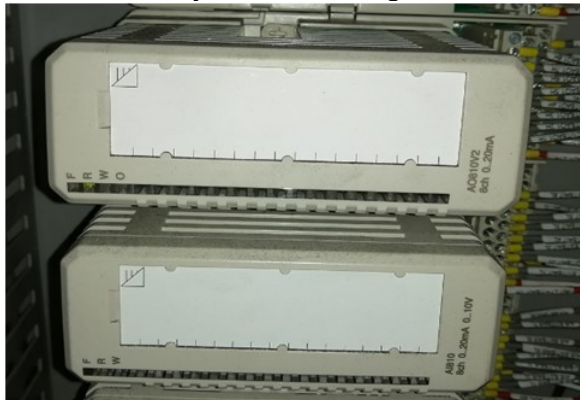
**Figura 2-19:** Gabinete de control existente para módulos entradas y salidas análogas



Fuente: Autor

Las bases de los módulos (Ver figura 2-4), se instalaron sobre los rieles del gabinete de control que cuenta con una protección IP66 y sobre ellas los módulos de entrada y salida, se realizó la conexión de los cables de control hacia el actuador (Ver figura 2-18)

**Figura 2-20:** Módulos de entradas y salidas análogas instalados



Fuente: Autor

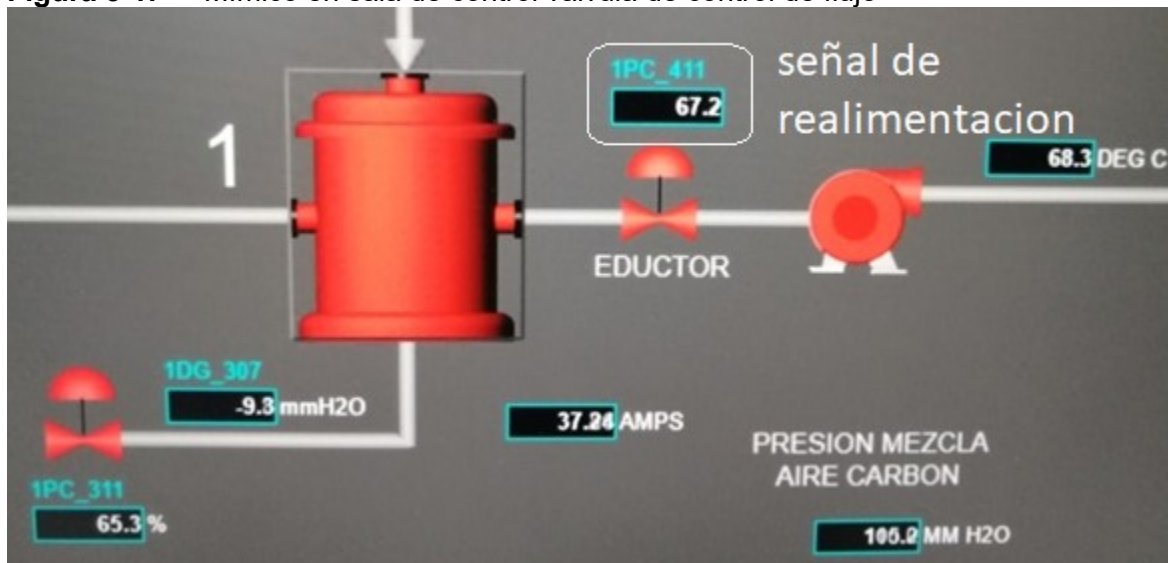
## Capítulo 3. Resultados

### 3. 1 Funcionamiento

El módulo de entrada analógica lee la información de posición del actuador o señal de realimentación que va ser utilizada para ver la posición en tiempo real de apertura y la envía hasta el controlador del gabinete donde está instalado, el controlador envía la información hasta los servidores, donde sincroniza la información en el programa de control y muestra la señal de apertura en el mímico de control. (Ver figura 3-1)

La señal de realimentación se implementa a la programación de control de combustión en la caldera, esta programación la realizo personal de ABB especializado en el control DCS que existe en la unidad 1.

**Figura 3-1:** Mímico en sala de control válvula de control de flujo



Fuente: Autor



Una vez se crea el gráfico de la válvula se crea una ventana donde se puede observar el valor de apertura de la válvula en tiempo real, para modificar este valor el operador da doble clic sobre la ventana que muestra la posición, en ese momento el programa llama al tag asignado de la compuerta y se digita el valor al que se desea llevar la compuerta del educador. Esta orden la recibe el servidor y la envía hasta los controladores para luego ser transmitida al módulo de salida análoga y llegar hasta el actuador.

### 3.2 Indicación en sala de operación

Para la indicación en la sala control, el programa de control 800xA cuenta con un creador de gráficos donde permite adicionar objetos a los gráficos de control que ya estaban preestablecidos, en este caso se adicionó la figura de una válvula de control, y en la parte superior del mímico se observa el porcentaje de apertura que desea controlar el operador y el tag asignado en la programación. (Ver figura 3-1)

### 3.3 Programación del control

La programación del control no es objetivo del proyecto, sin embargo, debido que se instaló el posicionador y actuador, GENSA contrató a ABB para realizar la programación de acuerdo al control de la unidad 1 de Termopaipa. (Ver figura 3-2)

**Figura 3-2:** Creador de graficos 800xA

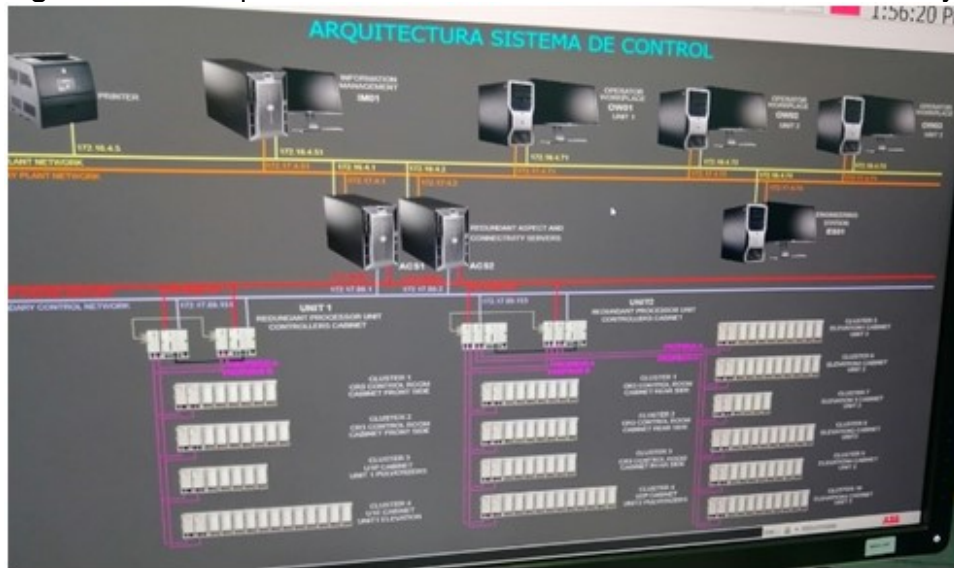


Fuente: Autor

En la (figura 3-3) podemos observar la arquitectura de control con mas detalle, se puede apreciar la distribución de los módulos entradas y salidas análogas que se utilizan para el

control de los procesos y lazos de control que se ejecutan en la unidad 1, mientras los operadores por medio de las estaciones realizan la supervisión de los parámetros en tiempo real de cada uno de los instrumentos y actuadores que influyen en el proceso de combustión.

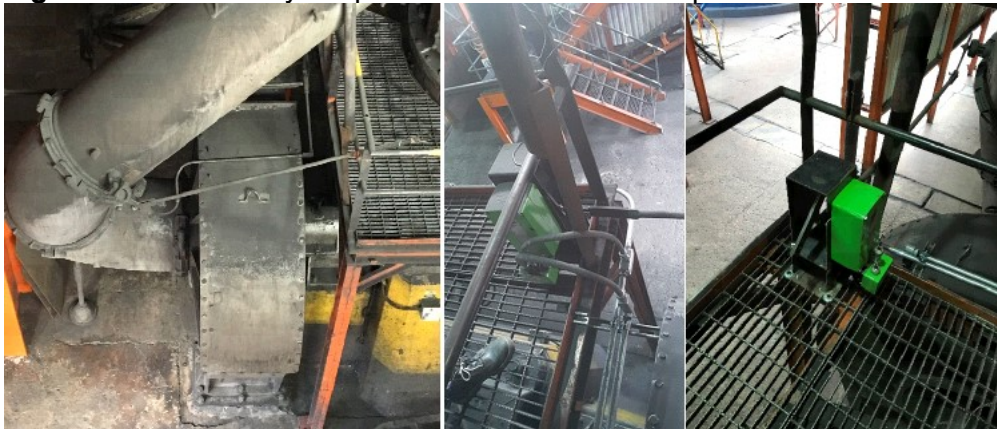
**Figura 3-3:** Arquitectura de control sistema de control DCS unidad 1 y 2



Fuente: Autor

En la figura 3-4 parte central y derecha se puede observar el posicionador empotrado a la pasarela del molino con las adecuaciones mecánicas que se realizaron, instalación del cableado de potencia y de control. En la parte izquierda se observa el antiguo control manual de la válvula.

**Figura 3-4:** Antes y después de la instalación del posicionador



Fuente: Autor

## Conclusiones

Se realizó el diseño y la puesta en servicio del posicionador y actuador para la compuerta de flujo de carbón en el pulverizador número 1 de GENSA, el cual cumple con los requisitos establecidos por el sistema de control con el que cuenta la unidad de generación N1 de Termopaipa, brindando un control adecuado sobre la válvula del eductor y brindando gran calidad en su trabajo de control y puesta en servicio.

Se cambió el sistema de control manual a uno electrónico sobre la válvula del eductor, implementando varias piezas mecánicas desde el actuador hasta la válvula de control, permitiendo que el control sea mucho más eficiente y preciso demostrando que las adecuaciones mecánicas fueron bien ejecutadas.

Se creó un sistema de visualización por medio del programa creador de gráficas que tiene el sistema de control (DCS) 800xA. Utilizando señales analógicas de control en miliamperios, para llevar la información en tiempo real desde el actuador hasta la sala de control para que el operador pueda visualizar el comportamiento de la válvula.

Se implementó el actuador y posicionador mediante adecuaciones mecánicas para transmitir los movimientos del actuador hacia la válvula de control sin que pueda haber errores en la transmisión de movimiento y brindar una mejor calidad en el trabajo.

Se instaló cableado estructurado totalmente nuevo para implementar el nuevo sistema de control, eliminando el control manual y brindando un respaldo para los operadores garantizando que la señal de control llegue sin errores hasta el tablero de control.

La implementación del posicionador cumple con satisfacción las normas de riesgo de equipos electrónicos en ambientes explosivos, todos los componentes que se utilizaron

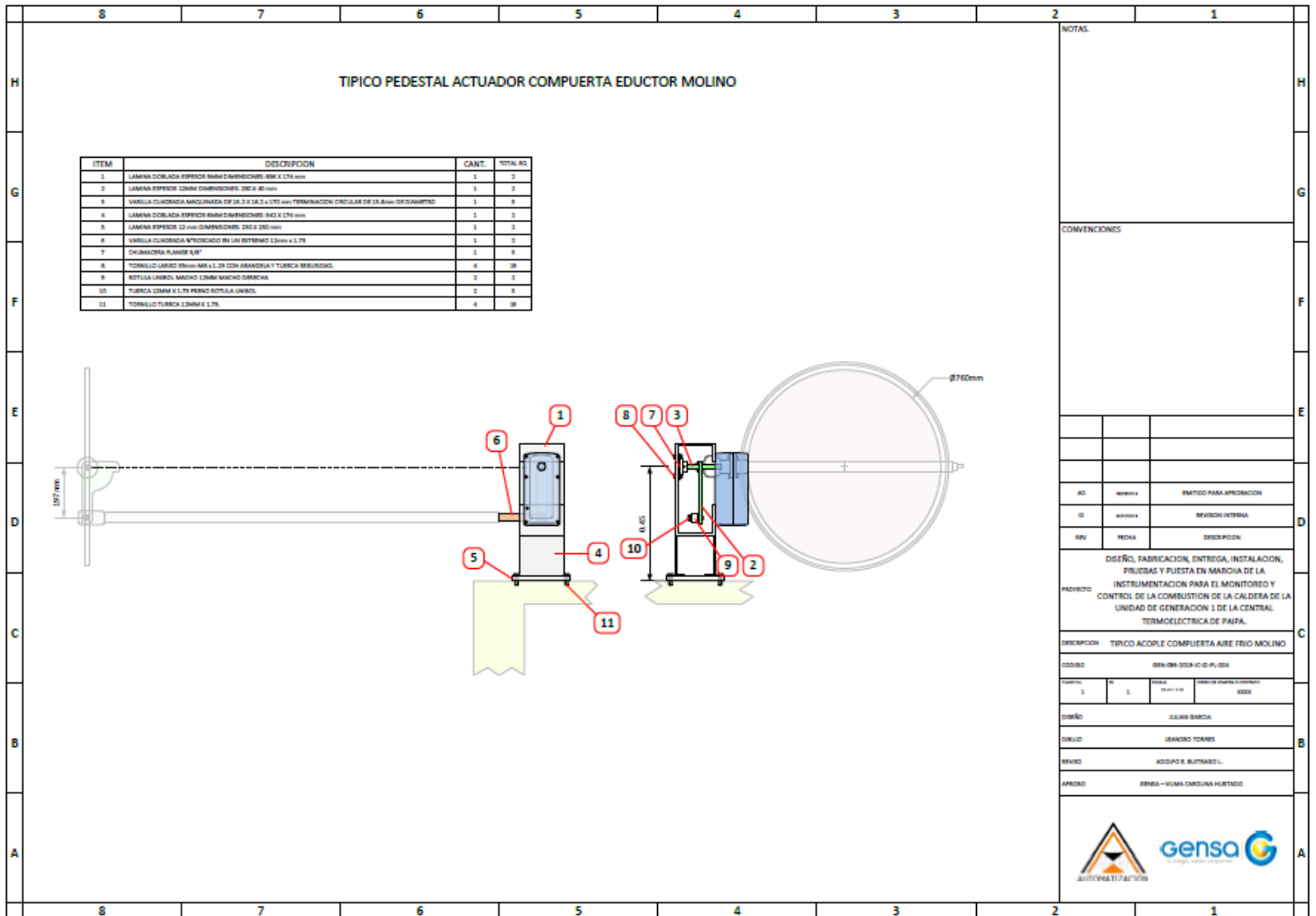
son certificados para el tipo de atmosfera explosiva que se presenta en el pulverizador 1 de Termopaipa.

Las pruebas que se realizaron al posicionador fueron exitosas, el equipo quedó en servicio y entregado a GENSA - Termopaipa, la cual dio el visto bueno y aprobó el funcionamiento del equipo.

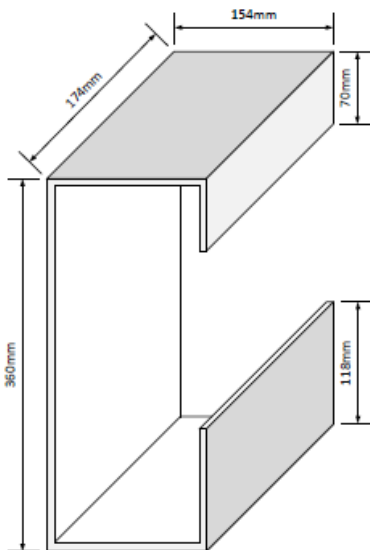
Se eliminó un riesgo ocupacional y operacional.

# Anexos

## Anexo 1: Diseño planos acoplamiento mecánico para compuerta control de flujo aire eductor pulverizador 1

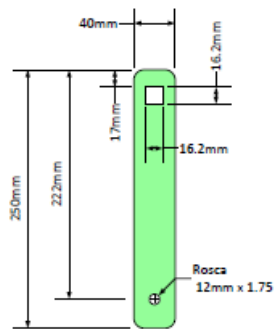


## PIEZA1



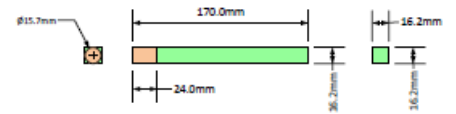
LAMINA DOBLADA ESPESOR 5MM  
DIMENSIONES: 856 X 174 mm  
CANTIDAD: 1

## PIEZA2

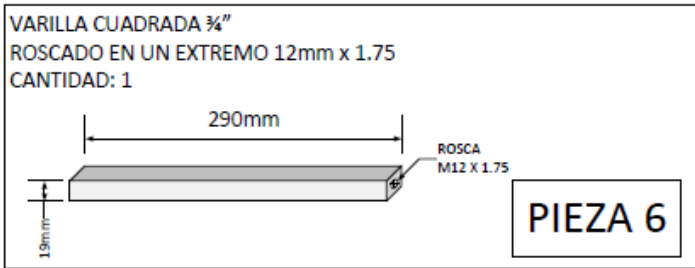
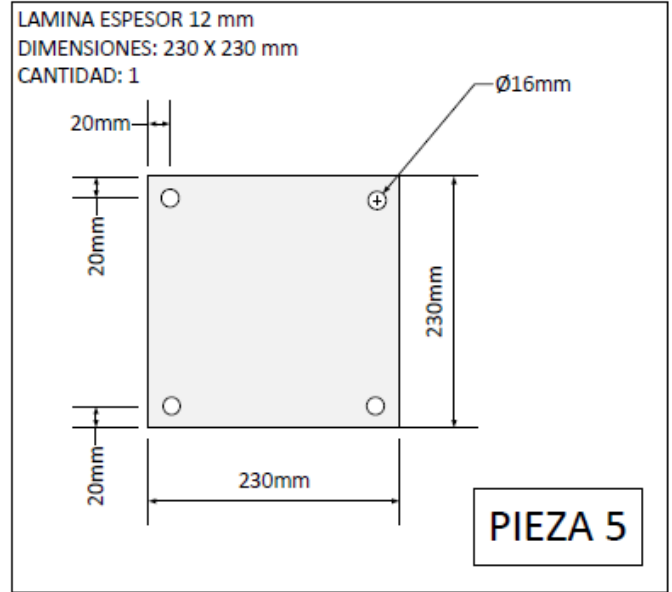
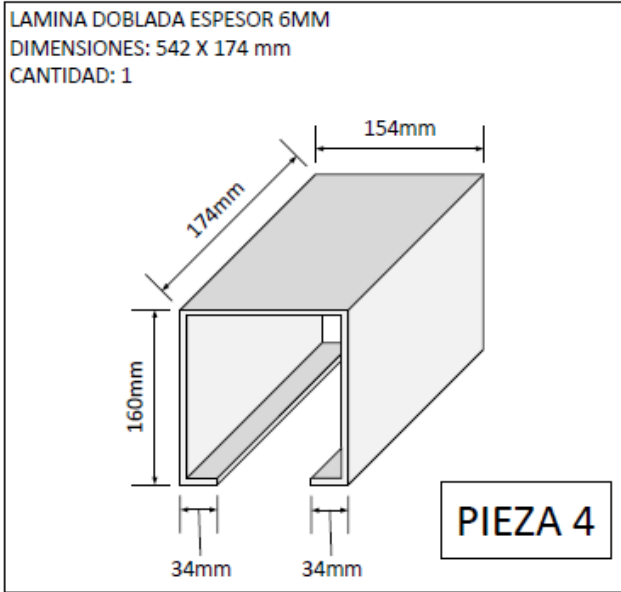


- LAMINA ESPESOR 12MM  
DIMENSIONES: 250 X 40 mm,  
CANTIDAD: 1

## PIEZA3

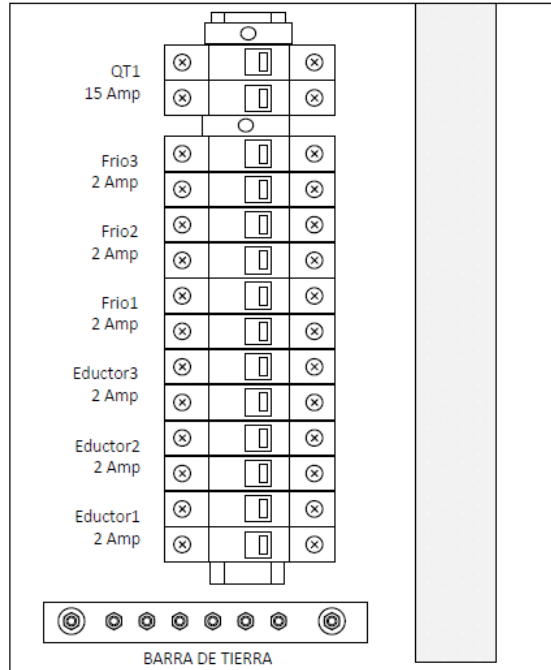
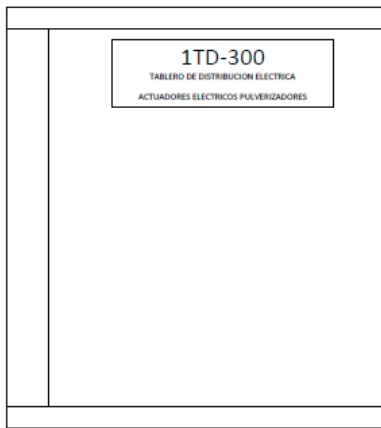


- VARILLA CUADRADA MAQUINADA DE 16.2 X 16.2 x 170 mm  
TERMINACION CIRCULAR DE 15.7mm DE DIAMETRO  
CANTIDAD: 1

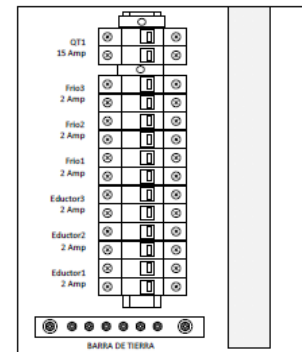


## Anexo 2: Planos eléctricos y cajas de potencia

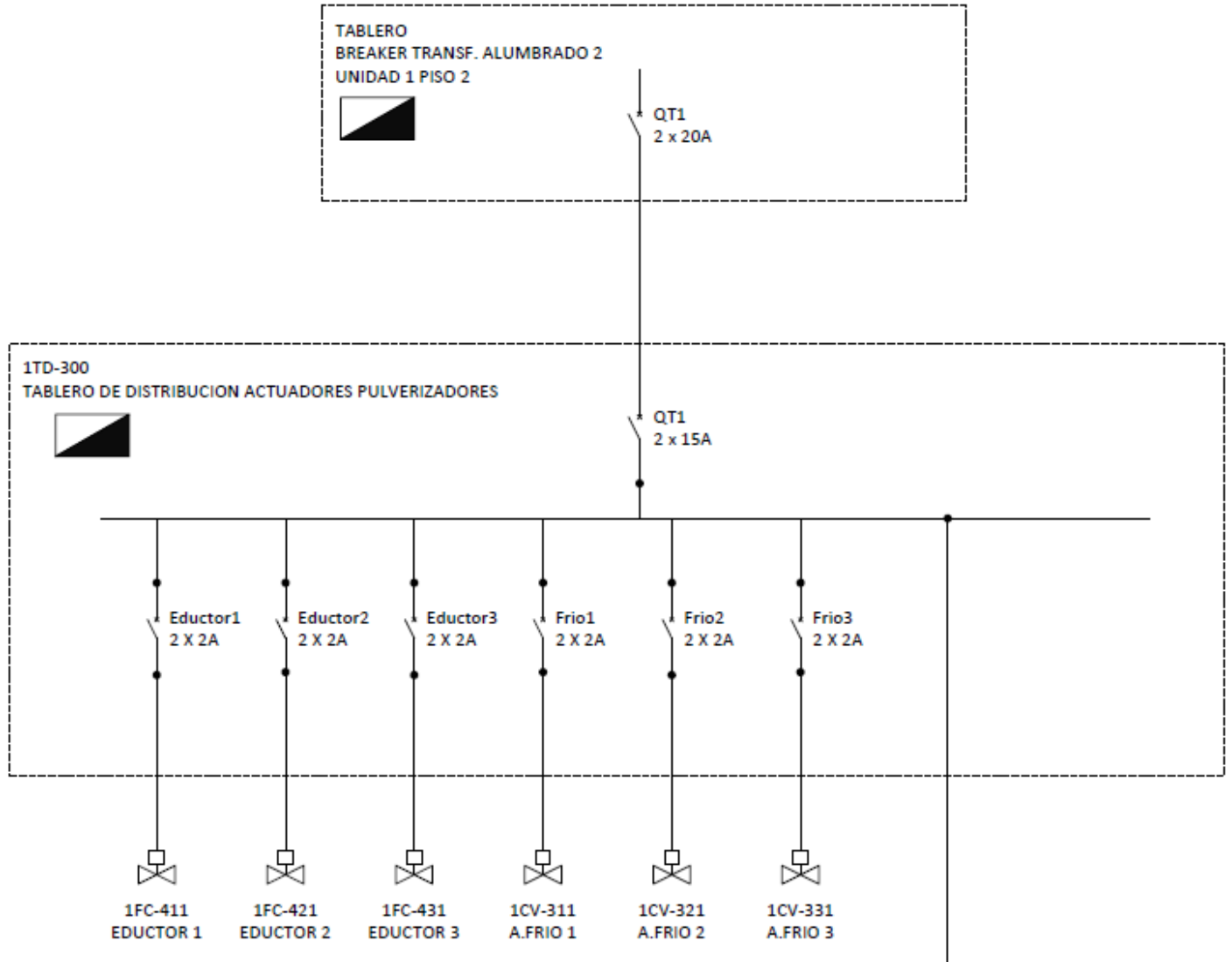
TABLEROS DE DISTR



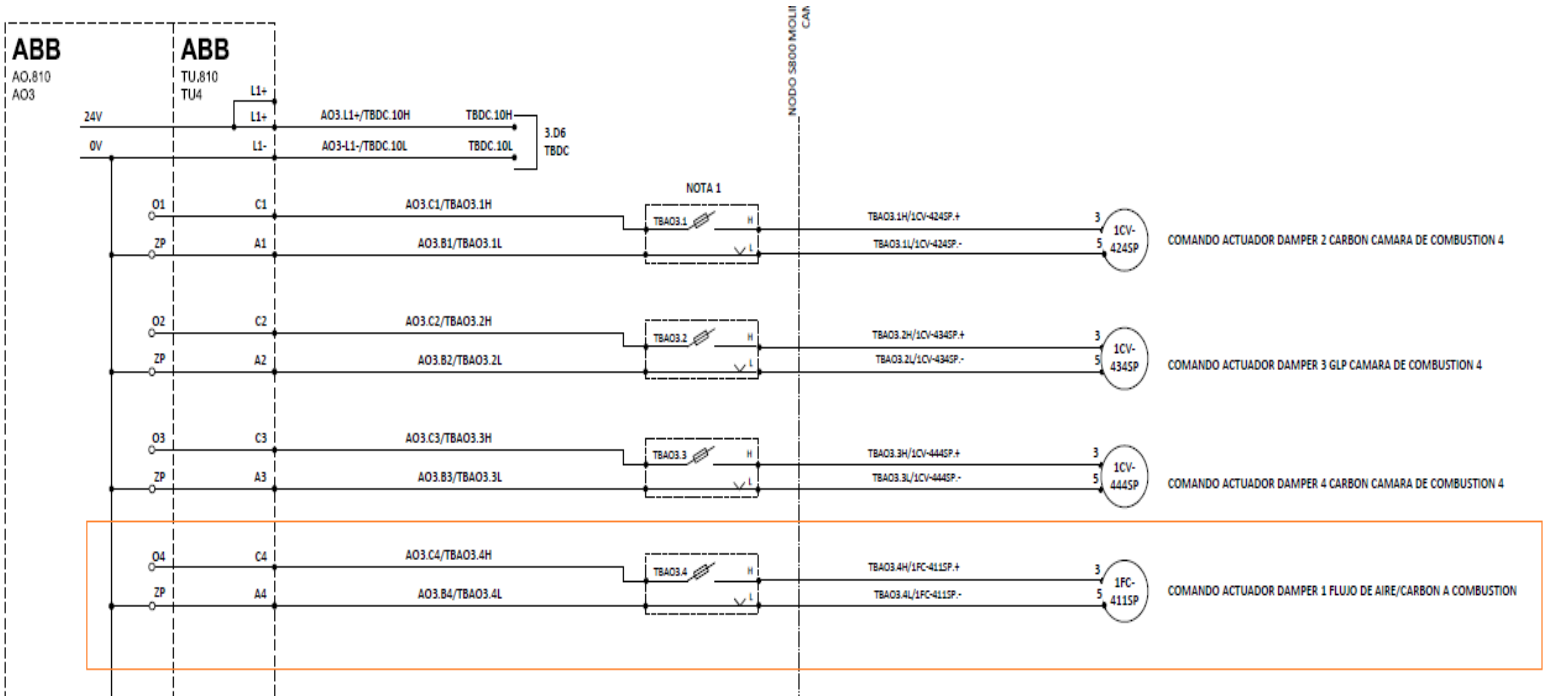
PULVERIZADORES



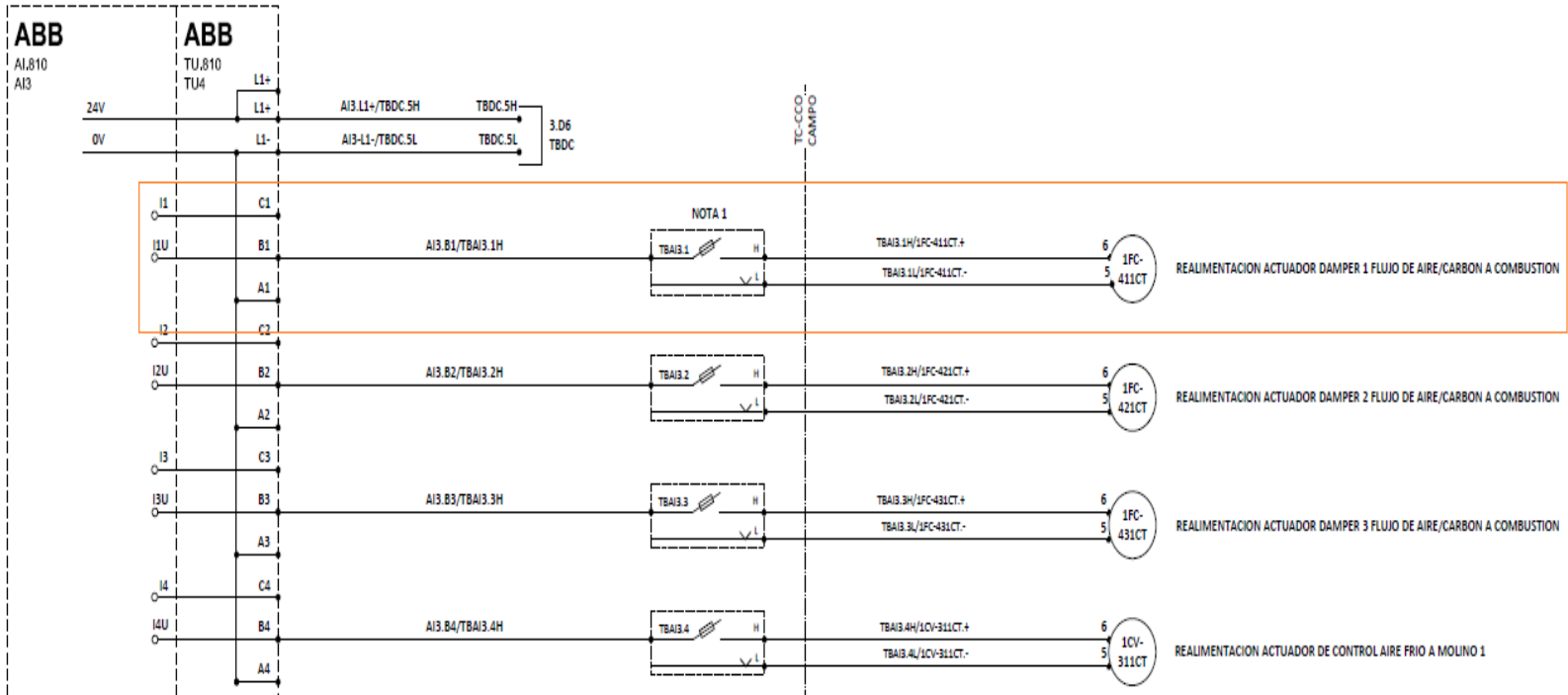




### Anexo 3. Conexión señal de comando modulo salida analoga hacia el actuador



## Anexo 4. Conexión señal de realimentación a módulo de entrada analógico



## Anexo 5. Carta aprobación tesis Gensa termopaipá



Paipa, 01 febrero de 2019

Señores  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADOS  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA, ELECTROMECHANICA Y BIOMEDICA.  
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE TUNJA  
CIUDAD


REF: DOCUMENTACION

Respetados Señores,

Por medio de la presente hago constar que el señor Jonathan Rolando Becerra Reyes estuvo trabajando durante el diseño, montaje y puesta en marcha del proyecto Diseño y construcción de un posicionador electrónico para control de la compuerta de flujo de carbón en el pulverizador de N°1 de GENSA. Cumpliendo con los objetivos propuestos en la tesis de grado

Así mismo autorizo el desarrollo de la tesis basada en el trabajo realizado en el proyecto antes mencionado.

Agradezco su atención y colaboración.

  
**CARLOS EDUARDO TORRES CRUZ**  
Líder Unidad de Generación Térmica  
Gestión Energética - GENSA S.A. E.S.P



Manizales: Carrera 23 # 64B - 33 Edificio Centro de Negocios, Torre GENSA - Pbx: (6) 875 6262 - Fax: (6) 875 6151 - A.A. 2325  
Bogotá DC.: Carrera 68D # 25B-86 Edificio Centro Comercial y de Negocios Of. 729 - Tel: (1) 427 34 97 Fax: (1) 427 3510  
Central Termoelectrica de Paipa: Kilómetro 3 vía Paipa - Tunja - Tel: (8) 785 0050 - 785 0538 - Fax: (8) 785 3733 - 785 0847

NIT: 800.194.208-9 - www.gensa.com.co - Colombia

## Bibliografía e infografía

- [1] G. Termopaipa, MTO-001-UOPE Reseña historica Termopaipa, Paipa, 2001.
- [2] G. S. ESP, Manual del sistema uintegrado de gestion, Paipa, 2019.
- [3] G. S.A.ESP., Informe de cumolimiento Ambiental segundo semestre, Paipa, 2019.
- [4] G. S. ESP, muestreo isosinetico para la determinacion de las emisiones atmosfericas de fuentes fijas de la central, Paipa, 2017.
- [5] G. S. ESP, Manual de procedimientos de operacion unidad 1, Paipa, 2019.
- [6] G. S. ESP, Unidad de servicios tecnicos, Instructivo: DTP-002 UPRO, Paipa.
- [7] T. b. & W. Company, Steam its generation and use, Edicion 41, 1992.
- [8] 100cia.site, «turbinas de vapor,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.100cia.site/index.php/fisica/item/9722-cuales-son-las-partes-de-una-turbina-de-vapor>.
- [9] Technoindustria, «Diseño de condensadores,» 2020. [En línea]. Available: <https://Technoindustria.wordpress.com/tag/Condensadores-de-centrales-Termoelectrica/>.
- [10] Isladeva, «Esquemas alternadores,» [En línea]. Available: <https://isladeva.wordpress.com/2009/10/13/esquema-alternador/>.
- [11] G. S. ESP, Laboratorio quimico, Paipa.
- [12] Schiscchek, «certificaciones,» [En línea]. Available: <http://www.schiscchek.com/explosion-proof/hazard-ex-certification-info.html>.
- [13] Gruponovelec, «normas IP y NEMA,» [En línea]. Available: : <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/estandares-de-proteccion-ip-y-nema-guia-practica/>.
- [14] Paradiso, «sistemas SCADA,» [En línea]. Available: <https://paradiso-fp7.eu/scada/>.

- [15] Edcontrol, «tecnología DCS,» [En línea]. Available: <http://www.edcontrol.com/index.php/instrumentacion/instrumentacion-190/item/143-tecnologia-dcs-ahora-convertida-en-una-solucion-de-automatizacion-escalable>.
- [16] Mundo\_bici, «Relacion peso\_potencia\_ciclistas,» [En línea]. Available: <https://www.mundobici.co/blog/como-afectan-los-vatios-el-desempeno-en-carretera/>.
- [17] Schischek-pdf, «Actuadores I max,» [En línea]. Available: [http://www.schischek.com/pdf/products/InMax-M-3P\\_en.pdf](http://www.schischek.com/pdf/products/InMax-M-3P_en.pdf).
- [18] ABB , «Sistema 800xA modulos E/S,» [En línea]. Available: <https://www.800xahardwareselector.com/product/ai810>.
- [19] Risol, «productos-belden,» [En línea]. Available: <https://www.risoul.com.mx/productos-belden>.
- [20] Grupoinfra, «electrodos\_infra,» [En línea]. Available: <https://grupoinfra.com/files/libreria-de-descargas/ft-infra-718.pdf>.
- [21] Rodavigo, «cabezas de rotulas y dispositivos de fijacion,» [En línea]. Available: <https://rodavigo.net/catalogos/LASIOM/04%20Neum%C3%A1tica/LASIOM%2012%20Complementos%20para%20cilindros%20en%20acero%20inoxidable.pdf>.