



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**AUTOMATIZACIÓN DE MECANISMO DE ADMISIÓN DE OXÍGENO Y  
COMBUSTIBLE EN CALDERA #4 CON CONTROLADOR LOGO, CHSA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21411170      JUAN CARLOS DUBÓN PORTILLO**

**ASESOR: ING. DARWIN REYES HERNANDEZ**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA**

**ABRIL 2018**

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres y a Dios**

No me alcanzan las palabras para expresar lo feliz que me siento de alcanzar esta meta tan importante en mi vida, y sobre todo feliz por la sonrisa que veré reflejada en el rostro de mis padres que a lo largo de esta travesía han hecho hasta lo imposible para apoyarme y verme bien, sus recuerdos han sido mi fuerza en los momentos difíciles y mi luz en los momentos inciertos. Hoy estamos alcanzando esta meta juntos que tanto hemos soñado mis amados papás. Guiado, apoyado y siempre bendecido por Dios que ningún momento me dejó solo.

### **A mis maestros**

A lo largo de toda mi carrera he compartido con muchos maestros que con sus conocimientos empíricos y conocimientos científicos han hecho de mí una mejor persona, muchas gracias por toda su paciencia, esmero y alegría a la hora de formarme, fue un verdadero gusto para mí haber compartido con tan grandes profesionales.

### **A mis seres queridos**

En este punto hay tantos familiares, amigos, compañeros que mencionar, por lo cual hablo de forma general, ya que con su ayuda hicieron este camino mejor. Siempre los llevo en mi mente y corazón. Especial agradecimiento a la asociación Fulbright de Honduras y a UNITEC por depositar toda su confianza y ayuda a mi persona, ellos me cambiaron la vida a mí y a mi familia, también al PhD Deras, a la profesora Santos y a mis maestros de mi querida Normal por impulsarme a seguir soñando en grande. "Una persona nunca muere mientras su recuerdo siga vivo en nosotros", especial dedicatoria para mi abuelo Israel que desde el cielo sé que estará orgulloso de ver que el día en que me convertiré en un profesional ya llegó.

## ÍNDICE

I.	Introducción .....	1
II.	Planteamiento del problema.....	2
	2.1 Antecedentes.....	2
	2.2 Definición del problema.....	3
	2.3 Preguntas de investigación .....	4
	2.4 Objetivos .....	4
	2.4.1 Objetivo general.....	4
	2.5 Justificación .....	5
III.	Marco Teórico .....	7
	3.1 Calderas.....	7
	3.1.2 Partes principales que componen una caldera.....	11
	3.1.1 Calderas pirotubulares .....	15
	3.1.2 Comportamiento de calderas.....	17
	3.2 PLC LOGO!.....	19
	3.2.1 Modulo de expansión AM2.....	29
	3.3 Biogás.....	32
	3.4 Potenciómetro .....	36
IV.	Metodología.....	38
	4.1 Variables dependientes .....	38
	4.2 Variables independientes .....	38
	4.3 Enfoque y método .....	38

4.4 Cronograma de actividades.....	41
V. Análisis y resultados.....	44
5.1 Factores que afectan el consumo de biogás de la caldera #4 .....	46
5.2 Oportunidades de mejora con la primer prueba .....	47
5.3 Instalación de componentes existentes en caja eléctrica.....	52
5.4 Manual de automatización y Programación.....	55
5.5 Beneficios del proyecto .....	56
VI. Conclusiones .....	59
VII. Recomendaciones .....	60
7.1 para la empresa .....	60
7.2 para la universidad.....	60
VIII. Bibliografía.....	61
IX. Anexos.....	65
Anexo 1. Caldera #4 de biogás.....	88
Anexo 2. Mecanismo manual de control caldera #4 de biogás .....	89
Anexo 3. Prueba de laboratorio para caldera #4 de biogás.....	89
Anexo 4. Mecanismo Regulador de leva – dámper de oxígeno y biogás en Caldera #4 de biogás.....	90
Anexo 5. Circuito de Mando caldera #4 de biogás .....	91
Anexo 6. Montaje de prueba sistema automatizado en caldera #4 de biogás ....	92
Anexo 7. Visor dañado y grietas anormales en caldera #4 de biogás .....	93
Anexo 8. Reparación por sobrecalentamiento en caldera #4 de biogás .....	94
Anexo 9. Instalación de sensor de presión de biogás en caldera #4 de biogás...	95

Anexo 10. Seguimiento de sistema automatizado de caldera #4 en bitácora eléctrica .....	96
Anexo 11. Seguimiento de sistema automatizado de caldera #4 en bitácora eléctrica .....	96
Anexo 12. Seguimiento de sistema automatizado de caldera #4 en bitácora eléctrica .....	96
Anexo 13. Seguimiento de sistema automatizado de caldera #4 en bitácora eléctrica .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidades y Poderes Caloríficos .....	9
Tabla 2. Cuadro de ventajas y desventajas de caldera pirotubular .....	16
Tabla 3. Cuadro de ventajas y desventajas de caldera acuotubular.....	17
Tabla 4. Datos de comportamiento de diferentes calderas .....	18
Tabla 5. Estados de LOGO! .....	32
Tabla 6. Características del biogás .....	34

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Caldera Típica de Vapor.....	7
Ilustración 2. Poder calorífico de combustibles .....	9
Ilustración 3. Caldera Cleaver Brooks - Pirotubular.....	15
Ilustración 4. Diagrama LOGO! 12/24RC .....	19
Ilustración 5. Proceso de caldera 4 pre-modulación .....	21
Ilustración 6. Clasificación de actuadores .....	28
Ilustración 7. Diagrama Módulo AM2 .....	29
Ilustración 8. Modo de conexión de módulo AM2 con LOGO!.....	30
Ilustración 9. Conexión final de LOGO y módulo AM2 .....	31
Ilustración 10. Triángulo de la combustión .....	33
Ilustración 11. Esquema básico de la producción de biogás.....	35
Ilustración 12. Esquema básico de un biodigestor .....	36
Ilustración 13. Cronograma de actividades.....	41
Ilustración 14. Cronograma de actividades.....	41
Ilustración 15. Cronograma de actividades.....	42

Ilustración 16 Cronograma de actividades .....	42
Ilustración 17 Cronograma de actividades .....	43
Ilustración 20 Fórmula para encontrar en valores de presión los valores del PLC ....	49
Ilustración 19 Visualización display modo automático .....	50
Ilustración 20 Visualización display modo manual .....	51
Ilustración 21 Dámper en reparación por sobrecalentamiento .....	53
Ilustración 22 Vista de componentes existentes en caja eléctrica .....	54
Ilustración 23 Consumo promedio de la caldera #4 de los días 23,24 y 25 de marzo de forma automatizada .....	56
Ilustración 24 Consumo promedio de la caldera #4 de los días 27, 28 y 29 de marzo de forma manual.....	56
Ilustración 25 Consumo promedio de caldera #5 de los días 23,24 y 25 de marzo con la caldera #4 automatizada .....	57
Ilustración 26 Consumo promedio de caldera #5 de los días 29, 30 y 31 de marzo con la caldera #4 sin automatizar .....	58

## Glosario

**Biogás:** es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno.

**Búnker:** combustible compuesto por moléculas con más de 20 átomos de carbono, y su color es negro. El búnker se usa como combustible para plantas de energía eléctrica, calderas y hornos.

**Comburente:** es una sustancia que logra la combustión, o en su defecto, contribuye a su aceleración. El comburente oxida al combustible en cuestión para finalmente ser reducido por completo por el último.

**Combustión:** es un proceso químico de oxidación rápida que va acompañado de desprendimiento de energía bajo en forma de calor y luz. Para que éste proceso se dé, es necesario la presencia de un combustible, un comburente y calor.

**Dámper:** dispositivo mecánico utilizado generalmente para regular el flujo de aire en una caldera.

**Estequiometría:** proporción registrada en los elementos que se combinan en el desarrollo de una reacción química. Una buena estequiometría hace más eficiente el proceso de combustión de una caldera.

**Fuente de ignición:** origen de la acción de desencadenar la combustión de un cuerpo, como el proceso en el que una sustancia permanece en combustión.

**Modutrol:** Es un motor de aspecto cuadrado ya tiene integrado un mecanismo para dar un solo giro en su eje hacia un lado y hacia otro apenas a 1 RPM pudiendo eléctricamente parar el motor en cualquier momento.



Se usa para abrir o cerrar dos cosas normalmente, las compuertas de entrada de aire del ventilador del quemador y abrir o cerrar una válvula de combustible.

**PLC (Controlador Lógico Programable):** son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial. Un PLC controla la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control.

**Tiempos muertos:** aquél tiempo durante el cual el operador o la maquinaria no realiza ninguna tarea, no por pereza, sino porque no se tienen los elementos necesarios para llevarla a cabo o la maquinaria presenta averías.

## I. INTRODUCCIÓN

Según (Cerdeira, 2013), "Para que se produzca la combustión, deben encontrarse en el espacio y en el tiempo tres elementos; combustible, comburente y fuente de ignición. El combustible y el comburente se deben encontrar en unas proporciones adecuadas no produciéndose la combustión fuera de esas condiciones".

Cervecería Hondureña S.A. presenta un problema; el consumo poco automático de oxígeno y combustible en la caldera pirotubular #4, causado por el control manual mediante un potenciómetro del mecanismo de admisión de oxígeno y biogás realizado por el operario en turno de sala de máquinas.

El proyecto consistió en la automatización del mecanismo de admisión de oxígeno y biogás con un controlador LOGO el cual estará seteado en un rango de valores de presión que asegurarán una óptima estequiometría en la combustión de la caldera.

Un consumo poco automático del oxígeno y combustible en la caldera para CHSA conlleva a dos situaciones, la primera que afecta la parte económica al aumentar los costes de operación por la mayor utilización de las calderas de búnker, y la segunda relacionada con la eficiencia en la producción de vapor al no tener un equilibrio constante en el triángulo de combustión lo que provoca pocos lapsos de tiempo de trabajo a plena carga en la caldera, siendo una situación poco deseada ya que gran parte del proceso de producción depende del vapor. De acuerdo con (Otaola, 2013), "La tecnología actual permite proponer técnicas de mejora de eficiencia energética – a utilizar de forma conjunta o separada –, con las cuales el grupo quemador y caldera cumplen tres requisitos básicos: elevado rendimiento, reducidas emisiones y seguridad de funcionamiento. Los actuales equipos de gestión electrónica de la combustión facilitan su aplicación en una gran variedad de instalaciones".

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 ANTECEDENTES

Cervecería Hondureña S.A. (CHSA), cuenta con cinco calderas, de las cuales cuatro están automatizadas, todas (5) estas son utilizadas para la producción de vapor, la caldera #4, fue adquirida en el año de 2003 siendo un equipo vendido por una empresa ceibeña, pero elaborada por Cleaver Brooks, empresa que es líder mundial en la fabricación de calderas pirotubulares y acuotubulares, con más de 100 años de experiencia en el mercado, con sede en Estados Unidos. Dicha caldera fue instalada por una empresa autorizada por el grupo, CEMCOL sede San Pedro Sula, Honduras. Esta caldera tiene una capacidad de producción de 8, 369,000 BTU/HR.

Según (Servens, 1961), "la capacidad que una caldera (kilogramos de vapor producidos por hora) puede desarrollar depende de la velocidad de combustión, es decir, de la clase de combustible, tamaño y tipo de parrilla, cantidad de aire suministrada".

Al momento de comprar la caldera no se solicitó un mecanismo automático para la admisión de oxígeno y biogás, por lo cual se adquirió con las características propias de la compañía productora. Una de esas características es que la forma de regular la entrada de oxígeno y el combustible se realiza mediante un potenciómetro que levanta o baja una leva que controla el inyector de biogás, esta a su vez cierra o abre un dámper dependiendo de lo que se quiere. Razón por la cual no se logra aprovechar o quemar todo el combustible (biogás) que se le es suministrado.

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

De las cinco calderas con las que se cuenta en la planta de cerveza, cuatro utilizan como combustible el búnker, el cual se obtiene de un proveedor, es por esto que alternan su funcionamiento en varios ciclos, además estas cuentan con un sistema automático de admisión de oxígeno y búnker con la intención de ahorrar lo máximo posible sin dejar la eficiencia atrás. La caldera cuatro utiliza como combustible biogás, y es aquí el punto clave ya que este se produce en grandes cantidades dentro de la empresa gracias a un proceso de recuperación de agua en la planta de efluentes, se podría decir que el combustible es gratis.

Se trata de mantener en operación casi continua la caldera cuatro como complemento a las demás, considerando que la capacidad de producción de esta es menor para dejarla operar de forma independiente.

Según (Cerdeira, 2013), "La combustión con defecto de aire, el aire disponible es menor que el necesario para que se produzca la oxidación total del combustible. Por lo tanto se producen inquemados".

La falta de automatización del mecanismo de admisión de oxígeno y biogás en la caldera provoca que no se pueda quemar todo el combustible que se le es suministrado, lo que influye en la incorrecta estequiometría de la combustión, en otras palabras no se puede operar a plena carga constante, y en términos económicos no se puede conseguir bajar los niveles de consumo de búnker de las cuatro restantes. Como complemento del problema la entrada de oxígeno y combustible es regulada por un operario que pasa al pendiente de varias máquinas más, por lo cual la apertura o cierre del sistema no se da en el tiempo adecuado

De acuerdo con (Cerdeira, 2013), "La combustión con exceso de aire es la que se lleva a cabo con una cantidad de aire superior a la estequiométrica. Si bien la incorporación de aire permite evitar la combustión incompleta y la formación de inquemados, trae aparejada la pérdida de calor en los productos de combustión, reduciendo la temperatura de combustión, la eficiencia y la longitud de la llama".

### **2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el dispositivo de control más viable para regular la entrada de oxígeno y biogás a la caldera?

¿Qué factores de funcionamiento se deben tener en cuenta al momento de realizar las pruebas experimentales para desarrollar el programa de control?

¿Cuánto es el tiempo máximo que se tendría para realizar el montaje del sistema en un caso no se tenga un paro programado de la caldera cuatro?

### **2.4 OBJETIVOS**

Según (Gido y Clements, 2012), "El objetivo del proyecto se define por lo general en función del producto final o entregable del programa y del presupuesto, se deben incluir los beneficios esperados que resultarán de la implementación y definirán el éxito del proyecto. El objetivo de un proyecto debe ser claro y acordarse entre el patrocinador o cliente y el equipo de proyecto o contratista que lo ejecutará. Debe ser alcanzable, específico y medible".

#### **2.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar la automatización del mecanismo de admisión de oxígeno y biogás de la caldera cuatro, mediante un sistema de control electrónico, para mejorar la eficiencia en la combustión.

#### **2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Demostrar indicadores de aumento en el porcentaje de biogás utilizado en la caldera #4.
- Establecer valores de disminución en el consumo de búnker en las calderas uno, dos, tres, y cinco.
- Registrar lapsos de producción a plena carga más largos en la caldera cuatro.

#### **2.5 JUSTIFICACIÓN**

La razón por la cual se utiliza un controlador electrónico para la automatización del sistema de admisión de oxígeno y biogás en la caldera cuatro es porque las calderas de búnker ya cuentan con un dispositivo parecido no necesariamente igual ya que las formas de operación son diferentes. Dicho aparato les proporciona dos cosas; ahorro de combustible y mayor eficiencia.

Según (Otaola, 2013), "Las técnicas de mejora de la eficiencia y ahorro de energía que actúan sobre el aporte de aire son:

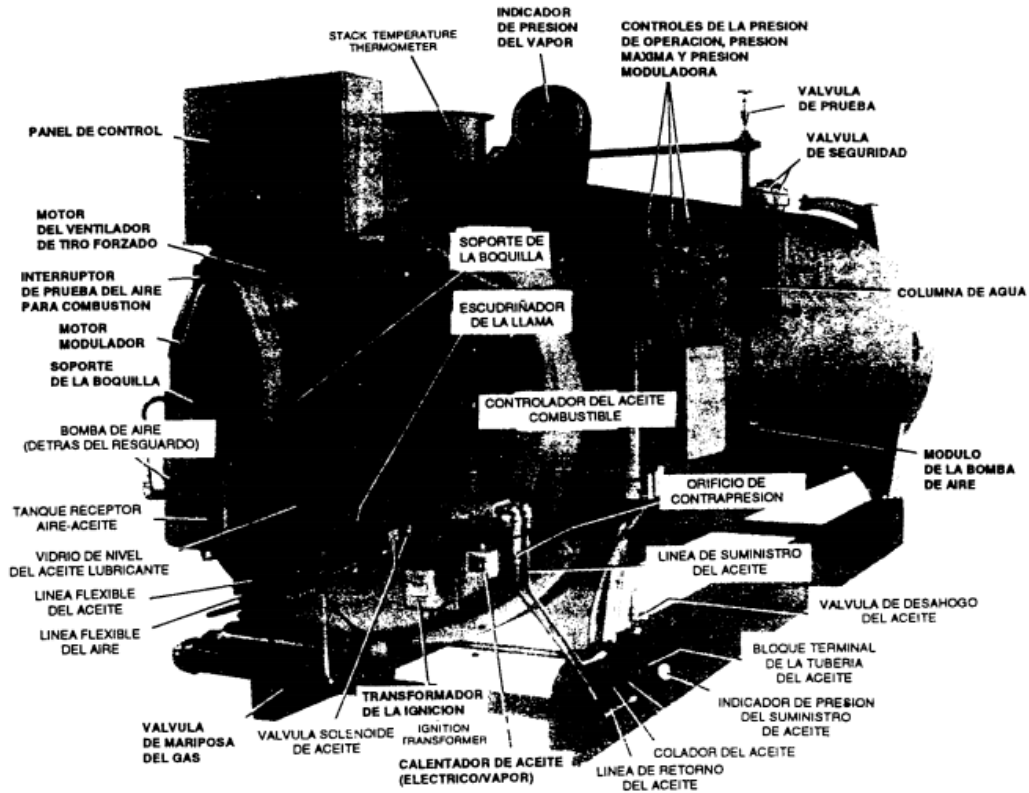
- La modulación del quemador, sin escalones, reduce de paradas y pérdidas de disponibilidad.
- La variación de la velocidad reduce la energía eléctrica consumida por el motor del quemador.
- El control en continuo del exceso del oxígeno mejora el rendimiento de la combustión".

Al no realizar la automatización de la entrada de aire y combustible a la caldera, podemos percibir más gastos de búnker para las que operan con este combustible, no estaríamos aprovechando al máximo un combustible que resulta gratis para la compañía y no podríamos generar un ahorro energético al estar influyendo la innovación en el motor del quemador.

De acuerdo con (Cerdeira, 2013), "El gas natural representa una solución energética idónea, por su bajo impacto medio ambiental, la eficiencia energética de las tecnologías asociadas a estos combustibles y su eficiencia económica, tanto en el coste inicial de sus soluciones como en el coste de su explotación"

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 CALDERAS



**Ilustración 1. Caldera Típica de Vapor**

Fuente: (Manual de operación y mantenimiento de calderas de vapor, Cleaver Brooks)

Según (Bahamondes, 2016), " Caldera es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica".

Para CHSA las calderas forman parte del corazón de la empresa ya que son utilizadas para los sistemas de calentamiento de los diferentes procesos necesarios en la producción de cerveza.



Las calderas funcionan mediante la transferencia de calor, producido generalmente al quemarse un combustible, el que se le entrega al agua contenida o que circula dentro de un recipiente metálico. En toda caldera se distinguen dos zonas importantes; 1. Zona de liberación de calor u hogar o cámara de combustión: Es el lugar donde se quema el combustible. Puede ser interior o exterior con respecto al recipiente metálico. Interior, el hogar se encuentra dentro del recipiente metálico o rodeado de paredes refrigeradas por agua. Exterior Hogar construido fuera del recipiente metálico. Está parcialmente rodeado o sin paredes refrigeradas por agua. La transferencia de calor en esta zona se realiza principalmente por radiación (llama - agua). 2. Zona de tubos: Es la zona donde los productos de la combustión (gases o humos) transfieren calor al agua principalmente por convección (gases - agua). Está constituida por tubos dentro de los cuales pueden circular los humos o el agua. (Frederick M. Steingress, Harold J. Frost, & Daryl R. Walker, 2003)

El entendimiento de estos equipos es de suma importancia, ya que es necesario manejar la parte operativa por razones de producción y mantenimiento, la falla total de estos equipos conllevaría a parar la producción de la planta, afectando directamente la rentabilidad de la misma.

De acuerdo con (Malek, 2006), "La elección de una caldera para un servicio determinado depende del combustible de que se disponga, tipo de servicio, capacidad de producción de vapor requerida, duración probable de la instalación, y de otros factores de carácter económico".

Las calderas pueden variar mucho dependiendo de la aplicación específica, por lo general las personas las relacionan estrechamente con la producción de energía eléctrica, y en efecto son muy utilizadas para este rubro por su alto aprovechamiento

energético y económico. Un aspecto muy importante del cual depende la calidad de la producción de vapor es el poder calorífico del combustible a utilizar.

**Tabla 1. Densidades y Poderes Caloríficos**

Producto	Densidad TON/M3	Poder Calorífico KCAL/KG
PETROLEO COMBUSTIBLE 6	0,945	10.500
GAS LICUADO	0,550	12.100
GASOLINA AUTOMOVILES	0,730	11.200
KEROSENE	0,810	11.100
DIESEL	0,840	10.900
GAS NATURAL PROCESADO	-	9.341 (**)
LEÑA	-	3.500
CARBON	-	7.000
BIOGAS	-	5.600 (**)
ELECTRICIDAD	-	860 (***)(1)

Fuente: (Agencia Chilena de Eficiencia Energética.)

■ Algodón	3.300	■ Cáscara de arroz	2.900
■ Bagazo de caña	1.800	■ Cáscara de cacao	3.000
■ Bambú	3.800	■ Cáscara de coco	5.000
■ Carbón mineral	7.500	■ Leña húmeda	2.900
■ Carbón vegetal	3.830	■ Papel	4.000
■ Cáscara de algodón	3.000	■ Polietileno	10.000
■ Cáscara de maní	3.000	■ Bunker	9.700
■ Cáscara de café	3.000	■ Gas natural	9.400
		<b>Kcal/m3</b>	

**Ilustración 2. Poder calorífico de combustibles**

Fuente: (WEG AESPERU)

Según (Fernández, 2012), " Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible. Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible."

combustible al oxidarse en forma metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa”.

El búnker posee un poder calorífico más alto que el biogás, pero no hay que olvidar un punto importante al momento de elegir la una caldera que es el combustible con el que se dispone, en este caso la planta produce mucho biogás como ganancia de un proceso llevado a cabo en efluentes, por lo cual se tomó la determinación de adecuar la caldera cuatro para que funcionase con biogás, ya que originalmente esta tarea la realizó la empresa CEMCOL trayendo un técnico especialista de estas tareas, cuyo país de origen es Estados Unidos. De esta forma se podría percibir un ahorro en la compra de búnker para la misma, de igual forma ayudar a reducir a la contaminación ambiental, ya que las emisiones de biogás son mucho más limpias que las producidas por el búnker. Generándose una doble ganancia si se quisiera ver así.

De acuerdo con (Wilson, 2008), “Las calderas de vapor se clasifican, atendiendo a la posición relativa de los gases calientes y del agua, en acuotubulares y pirotubulares”.

La elección del tipo de caldera a implementar en un proyecto es una decisión de importancia y que requiere cierto grado de conocimiento ya que las diferencias en las características entre una y otra puede ser bastante grande, una correcta elección es la clave para los proyectos exitosos y productivos.

### 3.1.2 PARTES PRINCIPALES QUE COMPONEN UNA CALDERA

Según (Kumar Rayaprolu, 2012), "Debido a que cada caldera dispone, dependiendo del tipo, de partes características, es muy difícil atribuir a todas ellas un determinado componente".

Al haber tantas variantes en calderas por la alta aplicabilidad de las mismas, es complicado mencionar componentes específicos de cada modelo, es por eso que hay una cantidad de componentes generales que deben tener los equipos para considerarlos como caldera.

1. HOGAR O FOGON: Es el espacio donde se produce la combustión. Se le conoce también con el nombre de Cámara de Combustión. Los hogares se pueden clasificar en: a) Según su ubicación. - Hogar exterior. - Hogar interior. b) Según el tipo de combustible. - Hogar para combustible sólido. - Hogar para combustible gaseoso. c) Según su construcción. - Hogar liso. - Hogar corrugado. Esta clasificación rige solamente cuando el hogar de la caldera lo componen uno o más tubos a los cuales se les da el nombre de "Tubo Hogar".
2. PUERTA HOGAR: Es una pieza metálica, abisagrada, revestida generalmente en su interior con ladrillo refractario o de doble pared, por donde se echa el combustible sólido al hogar y se hacen las operaciones de control del fuego. En las calderas que queman combustibles líquidos o gaseosos, esta puerta se reemplaza por el quemador.
3. EMPARRILLADO: Son piezas metálicas en forma de rejillas, generalmente rectangulares o trapezoidales, que van en el interior del fogón y que sirven de soporte al combustible sólido. Debido a la forma de reja que tienen, permiten el paso del Aire Primario que sirve para que se produzca la combustión. a) Las parrillas deben adaptarse al combustible y deben cumplir principalmente los siguientes requisitos: - Deben permitir convenientemente el paso del aire. -

Deben permitir que caigan las cenizas. - Deben permitir que se limpien con facilidad y rapidez. - Deben impedir que se junte escoria. - Los barrotes de la parrilla deben ser de buena calidad para que no quemem o deformen. - Deben ser durables. Algunos diseños de parrillas permiten que por su interior pase agua para refrigerarla y evitar recalentamientos. b) Tipos de parrilla: - Según su instalación: - Fijas o estacionarias: Son aquellas que no se muevan durante el trabajo. - Móviles o rotativas: Son aquellas que van girando o avanzando mientras se quema el combustible. - Según su posición: - Horizontales - Inclínadas – Escalonadas.

4. CENICERO: Es el espacio que queda bajo la parrilla y que sirve para recibir las cenizas que caen de ésta. Los residuos acumulados deben retirarse periódicamente para no obstaculizar el paso de aire necesario para la combustión. En algunas calderas el cenicero es un depósito de agua.
5. PUERTA DEL CENICERO: Accesorio que se utiliza para realizar las funciones de limpieza del cenicero. Mediante esta puerta regulable se puede controlar también la entrada del aire primario al hogar. Cuando se hace limpieza de fuegos o se carga el hogar, se recomienda que dicha puerta permanezca cerrada con el objeto de evitar el retroceso de la llama ("Lengua de Toro").
6. ALTAR: Es un pequeño muro de ladrillo, refractario, ubicado en el hogar, en el extremo opuesto a la puerta del fogón y al final de la parrilla, debiendo sobrepasar a ésta en aproximadamente 30 cm. Los objetivos del altar son: - Impedir que caigan de la parrilla residuos o partículas de combustible. - Ofrecer resistencia a las llamas y gases para que éstos se distribuyan en forma pareja a lo ancho de la parrilla y lograr en esta forma una combustión completa. - Poner resistencia a los gases calientes en su trayecto hacia la chimenea. Con esto se logra que entreguen todo su calor y salgan a la temperatura adecuada.

7. MAMPOSTERIA: Se llama mampostería a la construcción de ladrillos refractarios o comunes que tienen como objeto: a) Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor. b) Guiar los gases y humos calientes en su recorrido.

Para mejorar la aislación de la mampostería se dispone, a veces, en sus paredes de espacios huecos (capas de aire) que dificultan el paso del calor. En algunos tipos de calderas se ha eliminado totalmente la mampostería de ladrillo, colocándose solamente aislación térmica en el cuerpo principal y cajas de humos. Para este objeto se utilizan materiales aislantes, tales como lana de vidrio recubierta con planchas metálicas y asbestos.

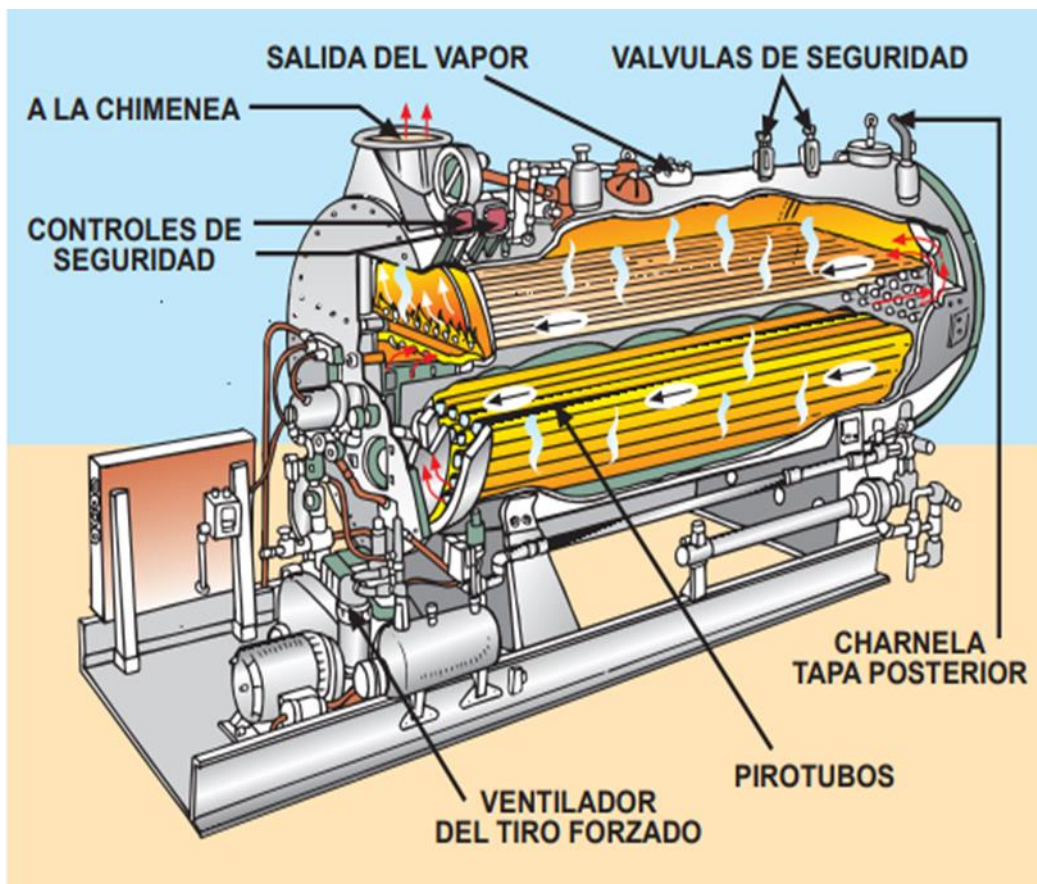
8. CONDUCTOS DE HUMO: Son los espacios por los cuales circulan los humos y gases calientes de la combustión. De esta forma, se aprovecha el calor entregado por estos para calentar el agua y/o producir vapor.
9. CAJA DE HUMO: Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.
10. CHIMENEA: Es el conjunto de salida de los gases y humos de la combustión para la atmósfera. Además, tiene como función producir el tiro necesario para obtener una adecuada combustión.
11. REGULADOR DE TIRO O TEMPLADOR: Consiste en una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma. Tiene por objeto dar mayor o mejor paso a la salida de los gases y humos de la combustión. Este accesorio es accionado por el operador de la caldera para regular la cantidad de aire en la combustión, al permitir aumentar (al abrir) o disminuir (al cerrar) el caudal. Generalmente, se usa una combinación con la puerta del cenicero.
12. TAPAS DE REGISTRO O PUERTAS DE INSPECCION: Son aberturas que permiten inspeccionar, limpiar y reparar la caldera. Existen dos tipos, dependiendo de su

tamaño: - Las puertas hombre - Las tapas de registro. La puerta hombre por sus dimensiones permite el paso de un hombre al interior de la caldera. Las tapas de registro, por ser de menor tamaño, permiten sólo el paso de un brazo.

13. PUERTAS DE EXPLOSION: Son puertas metálicas con contrapeso o resorte, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión. Sólo son utilizables en calderas que trabajen con combustible líquido o gaseoso.
14. CAMARA DE AGUA: Es el volumen de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y tiene como límite superior un cierto nivel mínimo del que no debe descender nunca el agua durante su funcionamiento. Es el comprendido del nivel mínimo visible en el tubo de nivel hacia abajo.
15. CAMARA DE VAPOR: Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara. En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada "domo", y que contribuye a mejorar la calidad del vapor (hacerlo más seco).
16. CAMARA DE ALIMENTACION DE AGUA: Es el espacio comprendido entre los niveles máximo y mínimo de agua. Durante el funcionamiento de la cámara, se encuentra ocupada por agua y/o vapor, según sea donde se encuentre el nivel de agua.

### 3.1.1 CALDERAS PIROTUBULARES

En estas calderas los gases calientes pasan por el interior de los tubos, los cuales se hallan rodeados de agua. Las calderas pirotubulares generalmente tienen un hogar integral limitado por superficies enfriadas por aguas. En la actualidad, las calderas pirotubulares horizontales con hogar integral se utilizan en instalaciones de calefacción a baja presión, y algunos tipos más grandes para producir vapor a presión relativamente baja destinado a calefacción y producción de energía. (Robert H. Kuss, 2009)



**Ilustración 3. Caldera Cleaver Brooks - Pirotubular**

Fuente: (Descripción de Calderas y Generadores de Vapor, ACHS)



CHSA de las 5 calderas con las que cuenta, todas son pirotubulares y de la marca Cleaver Brooks, esto a causa de varios factores; el tratamiento del agua en este tipo de equipos no es tan riguroso como lo es en el caso de las acuotubulares, en las cuales el agua viaja a través de los tubos los cuales están rodeados de fuego, por lo que un estancamiento de un cuerpo extraño y a cierta presión podría ocasionar un accidente de gravedad. Otro factor a considerar en este caso son la presiones operativas, las pirotubulares en este caso proporcionan una presión adecuada para la producción, considerando que las del tipo acuo producen presiones más altas, necesarias en otras aplicaciones diferentes a las de la planta. Los precios entre un tipo de calderas y otro varían considerablemente, para la elección entre una y otra es necesario tener conocimiento de ambas para no subdimensionar ni sobreestimar el equipo.

**Tabla 2. Cuadro de ventajas y desventajas de caldera pirotubular**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menor costo inicial, debido a la simplicidad de diseño en comparación con las acuotubulares de igual capacidad.	Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad.
Mayor flexibilidad de operación, ya que el gran volumen de agua permite absorber fácilmente las fluctuaciones en la demanda de vapor.	Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación, porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son eliminadas por las purgas.	Gran peligro en caso de explosión o ruptura, debido al gran volumen de agua almacenado.
Facilidad de inspección, reparación y limpieza	No son empleadas para altas presiones.

Fuente: (Descripción de Calderas y Generadores de Vapor, ACHS)

El conocer el mayor número de información de un equipo antes de adquirirlo o utilizarlo puede significar la prevención de muchos problemas el día de mañana como también generar una ganancia considerable para la aplicación que es utilizado.

**Tabla 3. Cuadro de ventajas y desventajas de caldera acuotubular**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menor peso por unidad de potencia generada.	Su costo es mayor
Mayor seguridad para altas presiones, mayor eficiencia, son inexplorativas.	Deben ser alimentadas con agua de gran pureza, ya que las incrustaciones en el interior de los tubos son, a veces, inaccesibles y pueden provocar roturas de los mismos.
Por tener pequeño volumen de agua en relación a su capacidad de evaporación, puede ser puesta en marcha rápidamente.	Debido al pequeño volumen de agua, le es más difícil ajustarse a las grandes variaciones del consumo de vapor, siendo necesario trabajarlas a mayor presión que la necesaria en las industrias.

Fuente: (Descripción de Calderas y Generadores de Vapor, ACHS)

### 3.1.2 COMPORTAMIENTO DE CALDERAS

Según (V. Ganapathy, 2002), "El comportamiento de una caldera puede expresarse en función de los kilogramos de vapor producido por metro cuadrado de superficie de calefacción y por hora (coeficiente de evaporación). Esta producción de vapor se ha ido elevando en los tiempos modernos".

Es de suma importancia conocer los rangos operativos de las calderas con las que se cuentan, dicho de otra forma, que tanto vapor está produciendo según la capacidad de los elementos claves de producción de esta forma se puede verificar si hace o no su trabajo, evitando pérdidas relacionadas a fallas de equipo y no tanto a fallas de nivel operativo.

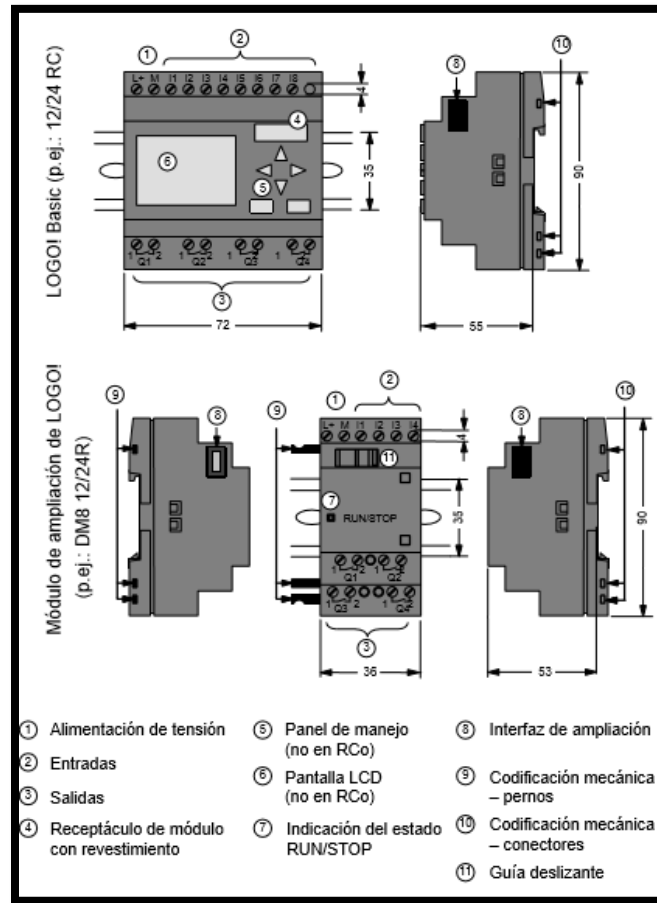
Según cada tipo de caldera varían ciertos parámetros que ayudan a realizar un análisis profundo sobre el equipo a usar en las diferentes industrias con necesidades de abastecimiento de vapor.

**Tabla 4. Datos de comportamiento de diferentes calderas**

TABLA:		CARACTERISTICAS DE CALDERAS			
TIPO DE CALDERA		PRESION MAXIMA	PRODUCCION MAX. NOMINAL VAPOR	SUPERFICIE DE CALEFAC. m <sup>2</sup>	COEFICIENTE DE EVAPORACION kg/h m <sup>2</sup>
PIROTUBULAR	Hogar exterior	10	3.500	22-230	12-15
	Escocesa	18	15.000	10-600	18-25
	Locomóvil	15	2.500	10-120	17-22
	Mixta	10	20.000	700	30-32
	Tambores	10 15	1.600	4-100	15
ACUOTUBULAR	Tubos Rectos	100	230.000	25-2300	20-100
	Tubos Curvos	225	2.000.000	mayor a 100	20-600
	Circulación Forzada	225	225.000 y más	-----	hasta 3.000

Fuente: (Descripción de Calderas y Generadores de Vapor, ACHS)

### 3.2 PLC LOGO!

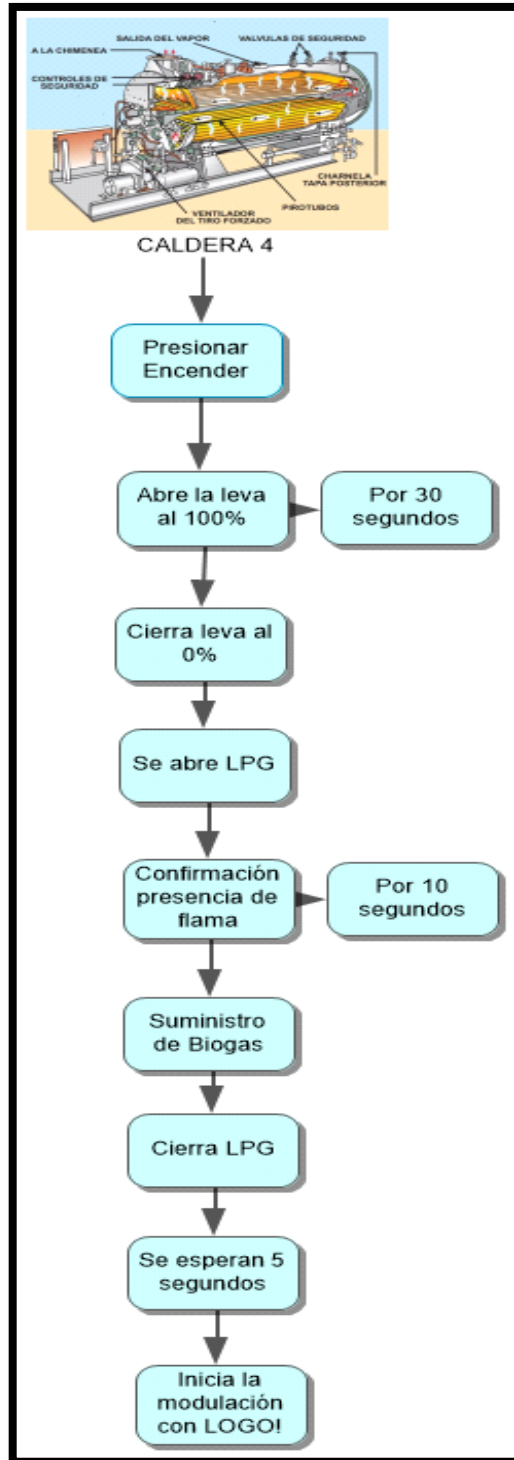


**Ilustración 4. Diagrama LOGO! 12/24RC**

Fuente: Manual de usuario LOGO! Edición 06/2003, Siemens.

Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC – Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos. También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. (M. Moreno, 2013)

LOGO! es el módulo lógico universal de Siemens. LOGO! lleva integrados; control, unidad de mando y visualización con retroiluminación, fuente de alimentación, interfaz para módulos de ampliación, interfaz para módulo de programación (Card) y cable para PC, Funciones básicas habituales pre programadas, p.ej. para conexión retardada, desconexión retardada, relés de corriente, e interruptor de software, temporizador, marcas digitales y analógicas, entradas y salidas en función del modelo. Estos PLC son de gama media, los cuales son muy funcionales para un alto número de aplicaciones industriales. Al inicio del proyecto se iba a realizar con un PID de la marca Watlow con la intención de innovar utilizando lo que ya se tenía en la empresa, el problema que presento este módulo es que solo contaba con una entrada y con una salida, lo cual para realizar el proceso mínimo se necesitan dos. Para conocer un poco más a detalle el proceso que realiza el mecanismo de admisión de oxígeno a la caldera, se explicará a continuación.



**Ilustración 5. Proceso de caldera 4 pre-modulación**

Fuente: (Elaboración propia con datos proporcionados por CHSA)

Como se puede observar en el diagrama la modulación no inicia en el arranque de la caldera, sino hasta después de un proceso preparación. En dicho proceso el sistema de admisión de oxígeno realiza dos actividades; aperturar al cien y al cero por ciento la leva, esta actividad se podría realizar con una sola entrada y con una sola salida, la cual tiene que ser diferente a la entrada y salida de la modulación, es por eso que el PID Watlow por sus características no puede llegar a cumplir con la función. Con el logo contamos con un número mayor de entradas y salida, su precio y calidad justifican el uso del mismo en el proyecto.

De acuerdo con (Siemens, 2003), " Con LOGO! se resuelven tareas de instalación y del ámbito doméstico (p.ej. alumbrado de escaleras, luz exterior, toldos, persianas, alumbrado de escaparates, etc.), así como la construcción de armarios eléctricos, máquinas y aparatos (p.ej. controles de puertas, instalaciones de ventilación, bombas de agua no potable, etc.)".

Con la capacidad operativa de estos PLC, con los datos correctos, las herramientas adecuadas y los conocimientos necesarios la aplicación de los mismos aumenta considerablemente, hasta llevarlos a funcionar en aplicaciones con calderas industriales.

Cualquier sistema controlado puede serlo de dos maneras, si nos ceñimos a los caminos de la información dentro del mismo: -Confirmando absolutamente en que los parámetros de diseño son correctos y que las órdenes que enviemos al sistema serán cumplidas. -Vigilando continuamente que las órdenes enviadas se cumplen y realizando las correcciones adecuadas siempre que sea necesario. (Penin, 2013).

La implementación de sistemas automáticos son necesarios en maquinarias o equipos que tienen un funcionamiento o producción constante, más cuando estos se encuentran en salas de máquinas con pocos operadores u operadores específicos para ellos. La regulación del oxígeno en la caldera cuatro se hacía con un sistema mecánico regulado por un potenciómetro con el cual podríamos pensar de un sistema de lazo abierto.

Según (Katsuhiko Ogata, 2010) " Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control de lazo abierto, en otras palabras, en un sistema de control de lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada".

Los sistemas de lazo abierto son muy utilizados en diferentes aplicaciones, gracias a que su precio en comparación con los de lazo cerrado varía considerablemente por la gestión y regulación automática que realiza el segundo. En este caso la caldera contaba con un sistema de lazo abierto utilizando como sensor o mecanismo de regulación un potenciómetro, un sensor que se opera de forma manual o en otras palabras una tarea realizada por el operario cada cierto tiempo que fuera necesario. Las desventajas de dicho sistema radican en la falta de autonomía en la regulación en caso se necesite más o menos oxígeno para mantener una estequiometría idónea para el máximo aprovechamiento de biogás. A parte que en caso de ser necesario un registro no se podía ya que el sistema al ser abierto no tiene retroalimentación de su salida, por lo cual la información se perdería solo pudiendo ser medible si se tuviera un operador solo para esa caldera, caso que no se cumple ya que dentro de los tres turnos que se manejan en sala de máquinas, hay cuatro grupos los cuales cada uno están integrados por un operador y un ayudante de operador, los cuales deben estar al pendiente de todos los equipos que forman parte de dicho departamento. El factor económico es otro tema de



mucha importancia y el cual es el eje de casi todo negocio, al realizar un proyecto anterior de automatización en las calderas uno, dos, tres y cinco se percibió un ahorro en combustible y un aumento de productividad lo es perfecto para lo que busca la empresa.

De acuerdo con (Alí José Carrillo Paz, 2011)" en el sistema de control a lazo cerrado, el controlador se alimenta de la señal de error de desempeño, la cual representa la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término lazo cerrado siempre indica una acción de control realimentado para reducir el error del sistema."

Al tener un sistema que logre tomar decisiones en caso los parámetros seteados varíen puede representar lograr estándares de eficiencia grandes, en el caso de las calderas al estar aprovechando aumentar la estequiometría de las mismas. El precio de la inversión en el caso de implementar un sistema de lazo cerrado podría resultar un poco elevado al inicio, pero con el paso de los días se darán cuenta que es algo que se paga solo y que en cierto tiempo comienza a generar ganancias. Los sistemas de lazo cerrado tienen una gran aplicabilidad en procesos que se necesita reacción inmediata ante una variante, ya que si de lo contrario se toman métodos antiguos o desfasados. La utilización de sistemas de lazo cerrado aumenta día a día considerable, ya que prefiere un control completo para aumentar la eficiencia de las plantas.

Los sistemas de lazo cerrado contienen una serie de elementos característicos que son fundamentales en la comunicación o tránsito de información como ser los sensores y actuadores.

Lo que circula entre el controlador y el controlado es algo que llamamos información. La información puede definirse como cualquier tipo de energía que puede ser emitida y, después, detectada. En sistemas de control, la información sufre tres cambios; 1-es producida por el sistema a controlar, e interpretada por medio de los diferentes elementos denominados sensores. 2- Se transmite hacia el sistema de control, donde es procesada y da lugar a una nueva información. 3-Se emite y codifica, de manera que pueda ser introducida en el sistema mediante unos convertidores que denominamos actuadores. (Penin, 2013).

En este caso en el proyecto de automatización de la caldera cuatro contará con los tres elementos fundamentales de un sistema de lazo cerrado; el sensor que en este caso será un transmisor de presión con salida de 4 – 20 mA, el actuador que será el sistema mecánico de la leva, motor, dámper y por último el cerebro o mejor dicho el PLC Siemens (LOGO!).

El termino sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo, con frecuencia se utiliza el termino transductor en vez de sensor. Los transductores se definen como el elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado. Es decir, los sensores son transductores. (W. Bolton, 2013)

Hablando de los sensores en los sistemas de control de lazo cerrado se puede hacer una analogía de lo que pasa con el cerebro humano y los sentidos, ambos tanto como el PLC y el cerebro de nada les servirían esa gran capacidad de procesamiento de información si no tienen instrumentos o dispositivos para registrarlos. Los sensores se encargan de captar la información y transmitirla a los cerebros de los diferentes sistemas en que se utilizan. La aplicabilidad de estos muchas veces depende más de la creatividad de quien lo usa que de lo que pueden hacer realmente.

La utilización de sensores es indispensable en la automatización de industrias de proceso y manufacturados, incluida la robótica, en ingeniería experimental, en sectores no productivos como son el ahorro energético y el control ambiental (aire, ruido, calidad del agua), en automóviles y electrodomésticos, en la agricultura y medicina, etc. Incluso los equipos de gestión de datos, alejados de las aplicaciones industriales, incorporan internamente para su funcionamiento correcto varios sensores. (Areny, 2003).

Para la automatización del sistema de admisión de oxígeno de la caldera se utilizó un transmisor de presión el cual está instalado en la tubería de biogás de manera estratégica ya que este es el que activa o desactiva el sistema con la intención de que la estequiometría sea la más adecuada.

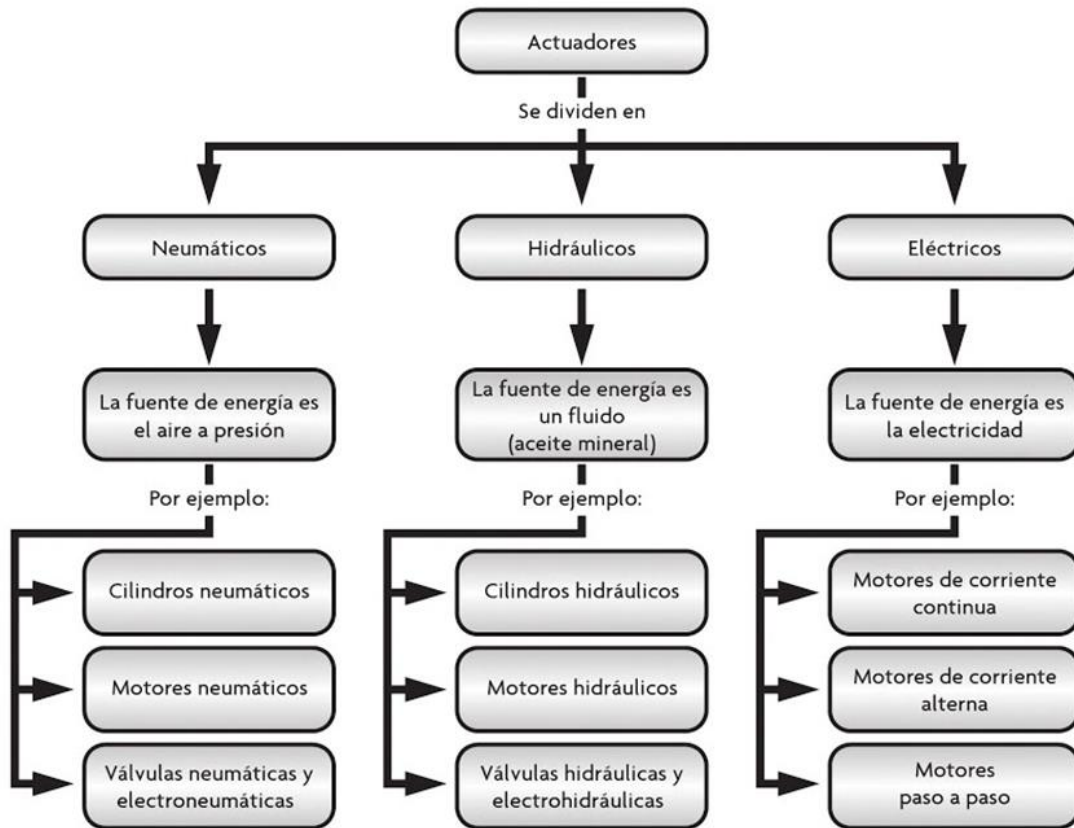
Un aspecto de mucha importancia al momento de elegir un sensor es saber si su salida es digital o analógica, ya que en el caso de regulación del oxígeno con un valor digital el rango de trabajo sería tan solo de dos datos (0 y 1). Con un sensor analógico la modulación se adaptó a lo que realmente está pasando en las tuberías del combustible de esta forma al haber poco biogás habrá poco oxígeno para que el fuego en la caldera no se ahogue, de igual forma cuando haya bastante combustible el porcentaje de oxígeno tiene que adecuarse para la combustión, dichos factores son importantes ya que con modulación analógica el triángulo de combustión se da de manera sencilla. Otro factor de importancia a considerar es el tipo de salida analógica que tiene, ya sea de 0..10V o 0/4..20mA, esto por dos razones; la primera relacionada a la señal ya que con las salidas de voltaje la información es más fácil de perder que con una salida de corriente, la segunda depende del controlador con el que se cuente, ya que muchos solo vienen diseñados para entradas digitales y un par de analógicas de voltaje, en el caso del proyecto el PLC que se utilizó solo contenía entradas de las anteriormente mencionadas, lo cual dificultó un poco el trabajo, hasta que se adquirió un módulo de entradas salidas analógicas configurables tanto

para voltaje como para corriente. Ya que el sensor mide en un rango de 0 a 100 PSI (el cual es más que suficiente para la presión que se maneja en las tuberías), mandando una señal de 4 a 20 mA, representando el cero el cierre total del mecanismo y el veinte la apertura máxima. Teniendo en cuenta que el sensor utilizado necesita ser alimentado con 24 VDC.

La mayoría de los sistemas mecatrónicos involucran movimiento o acción de algún tipo. Este movimiento o acción se puede aplicar a cualquier cosa, desde un simple átomo hasta una gran estructura articulada; y se crea mediante una fuerza o momento de torsión que resulta en aceleración y desplazamiento. Los actuadores son los dispositivos que se usan para producir este movimiento o acción. (David G. Alciatore & Michael B. Hirstand, 2008).

En este caso los actuadores cumplen la función de la reacción ante las señales enviadas por los sensores y procesadas por los PLC, de igual forma ofrecen una señal de retroalimentación para mantener el proceso de lazo cerrado. En la caldera el actuador principal es un motor que regula una leva la cual a su vez regula lo que es un dämper, para dar o no paso al oxígeno. Al momento de realizar una aplicación es suma importancia conocer datos sobre los elementos a utilizar, por ejemplo, el motor requerido en esta aplicación se necesita que sea un motor de pasos por su alto torque ya que le toca regular un dämper de tamaño considerable.

De igual forma algunos ocupan un módulo extra para poder operar la regulación con señales de 4 a 20 mA el cual es el caso de este motor, para realizar la función utiliza un accesorio electrónico llamado modutrol.



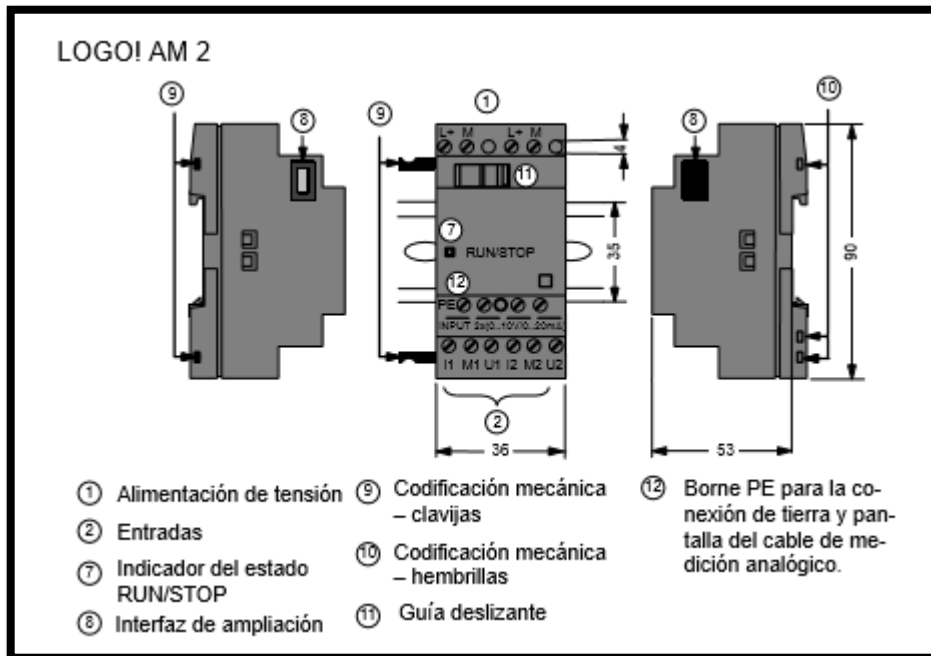
**Ilustración 6. Clasificación de actuadores**

Fuente: (Sensores y actuadores; aplicaciones con Arduino)

Los actuadores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica, ya sea rotacional o lineal. De los actuadores disponibles en el mercado, estos son los que se usan con mayor frecuencia, ya que su fuente de alimentación es la energía eléctrica, que es el tipo de energía que se encuentra disponible en la red de distribución eléctrica; por su parte, los actuadores que son alimentados con energía neumática o hidráulica requieren compresores para la generación de la misma. (Ramírez, Jiménez, Carreño, 2014).

Importante conocer la operatividad de los actuadores a utilizar, ya que uno que necesite compresor sería demasiado riesgoso instalarlo en un sistema donde hay tanto peligro de explosión por las altas temperaturas y el contacto con combustibles.

### 3.2.1 MODULO DE EXPANSIÓN AM2



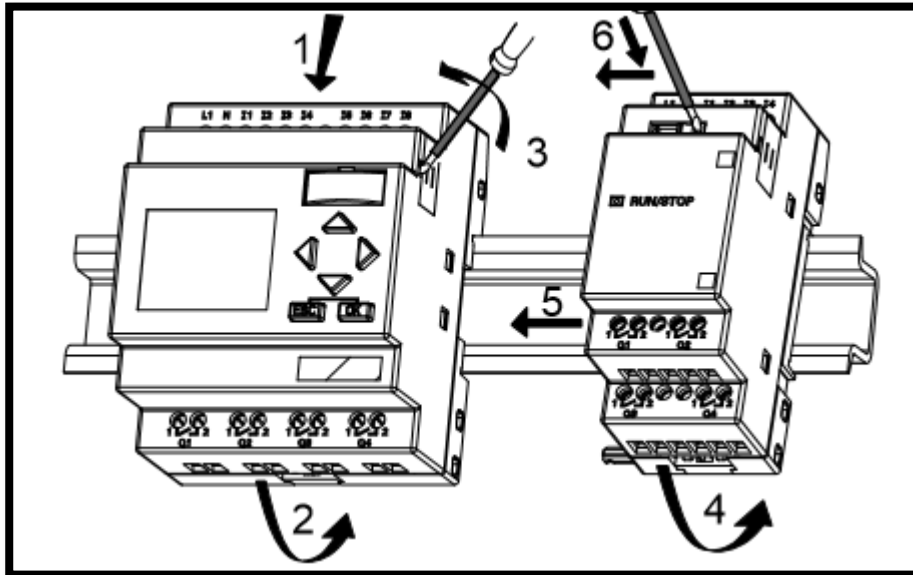
**Ilustración 7. Diagrama Módulo AM2**

Fuente: (Manual de usuario LOGO! Edición 06/2003, Siemens.)

El logo con el que se cuenta de fábrica contiene 8 entradas digitales y 4 salidas tipo relay. De las entradas hay cuatro que se pueden configurar como análogas de 0 a 10 V con la condición que solo se pueden activar en pares, no las cuatro a la vez o en conjunto. Y pues las salidas solo son todo o nada. Para la modulación del motor y para leer los datos del sensor se necesitan entradas y salidas de 4 a 20 mA, por lo cual se recurrió a la compra del módulo AM2 el cual proporciona dos entradas y

dos salidas que pueden ser configuradas ya sea de voltaje o de corriente, justamente lo necesario para el proyecto.

Un factor importante de este módulo de aplicación o esclavo es la conexión la cual se realiza de forma física y el software lo identifica una vez se empalmen.

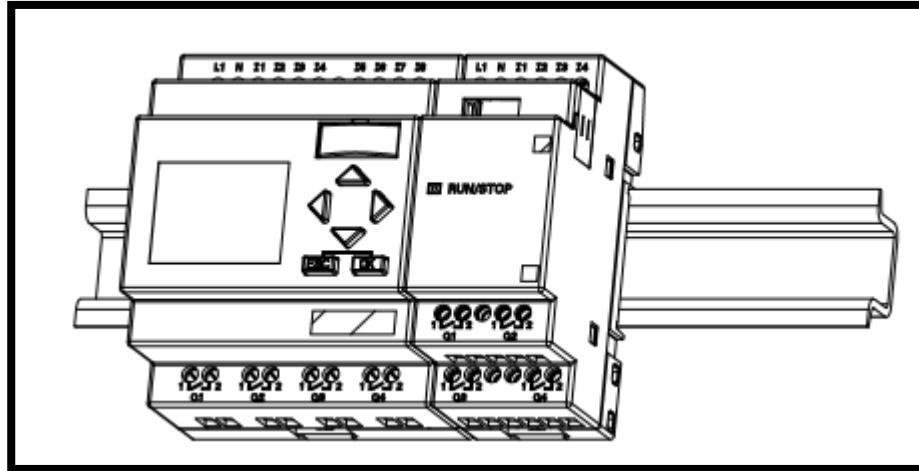


**Ilustración 8. Modo de conexión de módulo AM2 con LOGO!**

Fuente: (Manual de usuario LOGO! Edición 06/2003, Siemens)

En este caso solo es importante verificar que los conectores de ampliación queden bien ajustados, para evitar flojedad y falsos en la conexión. De igual forma estos módulos necesitan de su alimentación de voltaje en este caso 24VDC.

Al momento de agregar los dispositivos en el software de LOGO es importante saber que los módulos no aparecerán como esclavos, simplemente el software nos mostrará el PLC con sus entradas y salidas, análogas y digitales, en este caso si la conexión no fuera la correcta se puede buscar en la pantalla del LOGO la información de entradas y salidas.



**Ilustración 9. Conexión final de LOGO! y módulo AM2**

Fuente: (Manual de usuario LOGO! Edición 06/2003, Siemens.)

El LOGO! funciona en dos estados run y stop, he aquí un factor de gran importancia ya que cuando se realiza un cambio en la programación el PLC pueden entrar en modo stop y no seguir los parámetros previamente seteados.

Es decir, se puede correr el peligro de mandar la leva a cero y crear una sobrepresión lo que podría causar en el peor de los casos una explosión, o un daño severo en partes de importancia de la caldera.



**Tabla 5. Estados de LOGO!**

STOP	RUN
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicación en el display: 'No Program' (no LOGO!...o)</li> <li>• Conmutar LOGO! al modo de programación (no LOGO!...o)</li> <li>• Se ilumina la luz roja del LED (sólo LOGO!...o)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicación en el display: máscara para la observación de entradas o salidas y los avisos (después de START en el menú principal) (no LOGO!...o)</li> <li>• Conmutar LOGO! al modo de parametrización (no LOGO!...o)</li> <li>• Se ilumina la luz verde del LED (sólo LOGO!...o)</li> </ul>
<p>Acciones de LOGO!:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se leen las entradas,</li> <li>• No se procesa el programa</li> <li>• Los contactos de relé siempre están abiertos o las salidas de transistor están desconectadas</li> </ul>	<p>Acciones de LOGO!:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• LOGO! lee el estado de las entradas.</li> <li>• LOGO! calcula el estado de las salidas con el programa</li> <li>• LOGO! activa o desactiva los relés / las salidas de transistor.</li> </ul>

Fuente: (Manual de usuario LOGO! Edición 06/2003, Siemens)

De esta forma se tiene una idea más clara de lo que será el funcionamiento una vez este montado en campo el equipo.

### 3.3 Biogás

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía en forma de calor cuando reacciona con el oxígeno, habitualmente el contenido en el aire, transformando su estructura química. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser una reacción química, se conoce como energía química). En general, se trata de sustancias susceptibles de quemarse. (Cerdeira, 2013).

En el caso de las calderas el combustible juega un papel de gran importancia en aspectos tanto de eficiencia como de emisiones de gases contaminantes. Al hablar de eficiencia podemos abarcar factores de rendimiento económico en la parte de consumo y producción de forma directa e indirecta. Indirecta por el aumento de producción y eficiencia de la caldera biogás provocando menos consumo en las restantes calderas de bunker por la disminución de su uso. Y de manera directa por ser un combustible gratis y que hará que el funcionamiento sea mejor. En la parte de contaminación cabe resaltar la parte de que las emisiones de biogás son más limpias que las emisiones de búnker lo cual es provechoso ya que se recibe un bono por emisiones con baja cantidad de contaminantes en partículas por millón.



**Ilustración 10. Triángulo de la combustión**

Fuente: (Guía básica de Calderas Industriales Eficientes)

Las calderas por lo general vienen diseñadas para operar con un tipo de combustible específico, por cuestiones de componentes internos que se degradan a cierto ritmo o a cierto tiempo de operación, de utilizar otro combustible la probabilidad de falla aumenta. En el caso de la adecuación de la caldera para la operación con biogás fue realizada por CEMCOL, pero dirigida por el ingeniero estadounidense Allan Kiuv en el año 2003. Lo que se hizo fue la adaptación de un tren para biogás.

De acuerdo con (Moreno, 2011)“ El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable”.

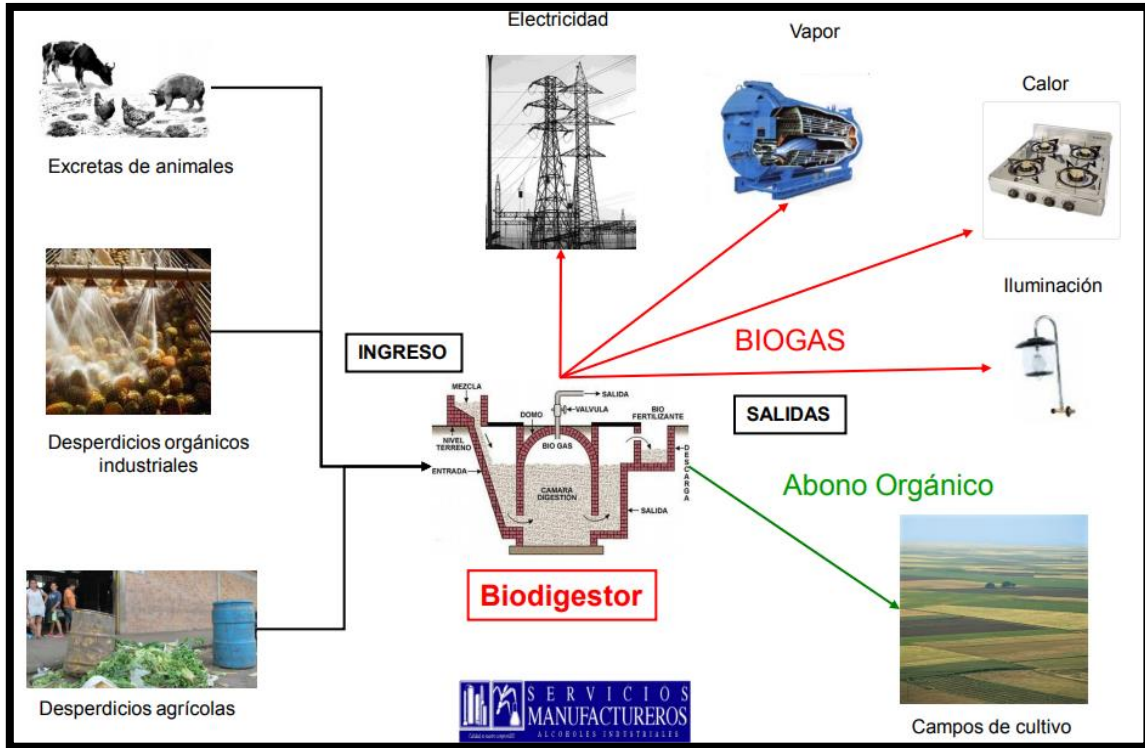
El biogás recibe cierto tratamiento antes de ser utilizado por razones de impurezas contenidas en el mismo que podría representar un riesgo o peligro cuando está en operación, dicho tratamiento lo recibe en la planta de efluentes esto para mantener los más altos estándares de calidad, emisiones limpias y seguridad.

**Tabla 6. Características del biogás**

Composición	55 – 70% metano (CH <sub>4</sub> ) 30 – 45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol <sup>-1</sup>

Fuente: (Manual de biogás, ministerio de energía de Chile)

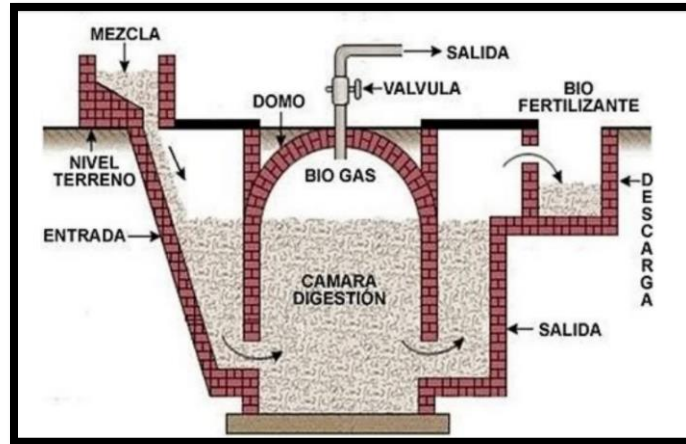
Las características de los combustibles son de suma importancia considerarlas para cualquier aplicación por cuestiones de seguridad y rendimiento. Su estado depende mucho de la rapidez con la cual se va a oxidar provocando la combustión. Es preferible la mayoría de los casos contar con combustibles en esta gaseoso para una mayor rapidez en la combustión.



**Ilustración 11. Esquema básico de la producción de biogás**

Fuente: (Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala (Sector Productivo), biogás)

La utilización del biogás es bastante variada gracias a sus múltiples características y economía de producción u obtención. Sus aplicaciones los rubros energéticos es su fuerte por la limpieza de sus emisiones y por su poder calorífico.



**Ilustración 12. Esquema básico de un biodigestor**

Fuente: (Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala (Sector Productivo), biogás.)

El biodigestor en este caso se encuentra en la planta de afluentes de tipo domo, el transporte se realiza por medio de tuberías enviándolo a presión mediante tuberías hasta un lugar donde se recibe antes de suministrarlo a la caldera.

### **3.4 POTENCIÓMETRO**

Según (Brian W. Evans, 2007), "Un potenciómetro es un resistor con un contacto móvil deslizante o giratorio. La resistencia entre dicho contacto móvil y uno de los terminales fijos está determinado por una fórmula matemática".

El conocimiento del funcionamiento de los potenciómetros es de suma importancia ya que las señales con la cual debe operar es de 10VDC de no limitar este valor la entrada del PLC la cual está conectado podría dañarse y peor aún dañar la tarjeta principal del controlador, en el caso del proyecto de automatización se cuenta con una fuente de 24VDC, por lo cual para poder operar los dos potenciómetros a usar se regulará el voltaje en los mismos utilizando divisores de voltaje.

De acuerdo con (William H. Hayt, Jack E. Kemmerly, & Steven M. Durbin, 2012), "Un divisor de tensión se usa para expresar la tensión en una de varias resistencias en

serie, en términos de la tensión de la combinación logrando limitar el voltaje de salida”.

De esta forma en conexión con una resistencia en serie podremos limitar el valor del voltaje en las entradas al PLC de los potenciómetros, procurando tener protección para el sistema de control, ya que de caso contrario podríamos ocasionar un accidente.

Según (C. Ray Asfahl & David W. Rieske, 2010), “Cualquier administrador de la seguridad y la salud que siente que la eliminación de los riesgos en el lugar de trabajo es una meta indisputable es ingenuo.”

Por lo cual a lo largo de la elaboración del proyecto en todo momento se pensó en asegurar la seguridad de cualquier persona que pueda ser expuesta a un riesgo por la caldera de biogás.

Una vez un ingeniero muy responsable dijo “la seguridad es como la salvación, propia”.

## **IV. METODOLOGÍA**

De acuerdo con (Universidad Andrés Bello, 2007) "Las variables se pueden definir como todo aquello que vamos a medir, controlar, y estudiar en una investigación o estudio. Por lo tanto, es importante, antes de iniciar una investigación, que sepamos cuáles son las variables que vamos a medir y La manera en que lo haremos. Es decir, las variables deben ser susceptibles de medición"

### **4.1 VARIABLES DEPENDIENTES**

La variable dependiente es el bajo porcentaje de biogás quemado durante la combustión y operación de la caldera #4. La identificación de todos los factores que afectan la productividad de la caldera se tornan prioritarios por la serie de beneficios a obtener con la mejora de los mismos.

### **4.2 VARIABLES INDEPENDIENTES**

En este caso las variables independientes se tomaron usando como indicativo el modo de operación de las calderas de búnker que ya cuentan con el sistema de control de aire y combustible a implementar en la de biogás. De esta forma se pudo determinar que variables afectaban la variable independiente para poder determinar el impacto que se generaba en esta última.

- Control manual (lazo abierto) del sistema de admisión de oxígeno y biogás mediante un potenciómetro.
- Procedimientos operativos en sala de máquinas.

### **4.3 ENFOQUE Y MÉTODO**

"El método científico es el procedimiento planteado que se sigue en la investigación para descubrir las formas de existencia de los procesos objetivos, para desentrañar sus conexiones internas y externas, para generalizar y profundizar los conocimientos

así adquiridos, para llegar a demostrarlos con rigor racional y para comprobarlos en el experimento y con las técnicas de su aplicación.” (Ruiz, 2007).

Para la realización del proyecto se utilizaron dos enfoques para tener un conocimiento más profundo del problema, siendo los pilares fundamentales de un método mixto.

Hablando del enfoque cuantitativo lo que se realizó fue una recopilación de datos de las calderas de bunker en un antes y después de la automatización del sistema de regulador de entrada de oxígeno y combustible, con un control de consumo diario, semanal o mensual no se contaba de la caldera #4, solo datos de generación de biogás en la planta de efluentes con aproximados de aprovechamiento en la caldera, se dio prioridad en las demás calderas en cuanto a información, ya que cuentan con su manual de automatización que les proporciona la empresa R Y D Industrial, proyecto realizado por ellos.

En la parte del enfoque cualitativo se contó con el apoyo de los cuatro operadores de sala de máquinas y del ingeniero jefe del departamento, cuya experiencia y conocimientos nos dieron las pautas tanto técnicas como teóricas de la operación en las diferentes calderas y sobre todo en la de biogás la cual se prioriza para ellos por razones de eficiencia y funcionamiento continuo en el proceso de elaboración de cerveza así como el ahorro potencial que podría generar para la empresa su automatización.

Antes de iniciar la investigación se tuvo que realizar una serie de investigaciones sobre el funcionamiento de las calderas con las que se contaban en el departamento, ya que aunque se contaba con cierta experiencia con calderas se era consciente de la gran variedad de tipos y accesorios de calderas con los que se cuenta, de esta forma se toman en cuenta todas las características operacionales que se deben tomar en cuenta una vez arranque la parte de desarrollo del sistema de admisión automático de oxígeno y biogás en la caldera cuatro.



Al inicio la investigación comenzó con un enfoque cuantitativo ya que no se podía iniciar el plan de automatización sin contar con todos los detalles operativos de la caldera ya que aquí se dan presiones en tuberías y en el hogar, si no se llegasen a tomar en cuenta algunos factores se podría generar sobrepresiones que podrían generar un accidente, caso que ya sucedió anteriormente provocando la expulsión del dámper a una gran velocidad por suerte nadie salió afectado. Además, lo que se busca es hacer la caldera más eficiente, sin conocer todos los datos de ella realizar la tarea sería demasiado complicado. De hecho, en este enfoque se realizaron algunas mediciones prácticas para determinar el valor de señales que serían el eje central del programa desarrollado, así como la operación de estas señales en el motor, una parte investigativa combinada de un poco de trabajo de campo. La investigación arrojó datos de interés como lo es que la caldera en los días que no hay producción de cerveza que por lo general son los fines de semana o cuando hay poca generación de biogás se deberá operar en forma manual por cuestiones de rendimiento.

Una vez obtenidos todos los datos de interés de operación de la caldera con la regulación del potenciómetro se cambió de enfoque determinando las variables principales de control que rigen el sistema automatizado de admisión de oxígeno y combustible para la caldera. Considerando la opción de dejar el modo de operación de control mediante el potenciómetro cuando se requiera, con el apoyo de técnicos, operadores e ingeniero jefe de los técnicos electricistas en el área de mantenimiento y utilidades.

El resultado de esta serie de investigaciones nos brindó todos los elementos para poder trabajar en el desarrollo del plan de automatización del sistema de admisión de oxígeno y biogás de la caldera considerando todos los detalles necesarios para una operación más eficiente sin dejar la seguridad de por lado.

## 4.4 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

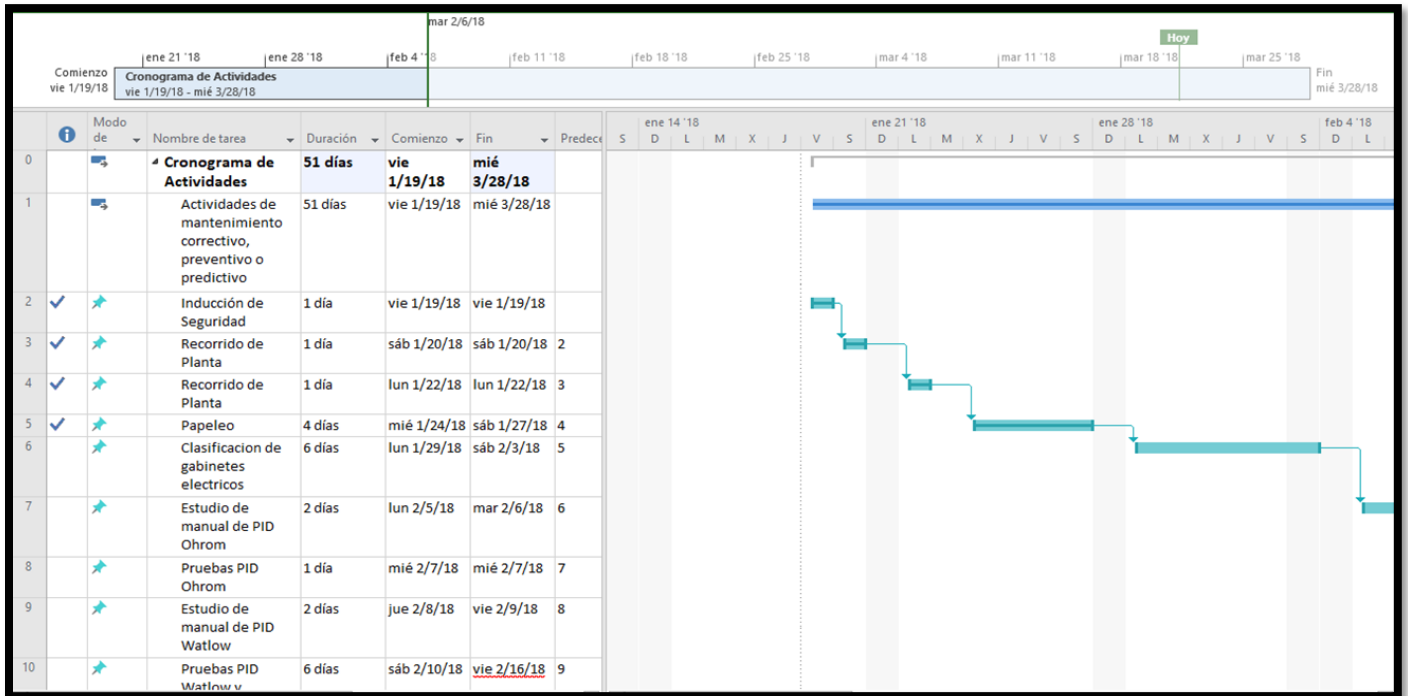


Ilustración 13 Cronograma de actividades

Fuente: Propia.

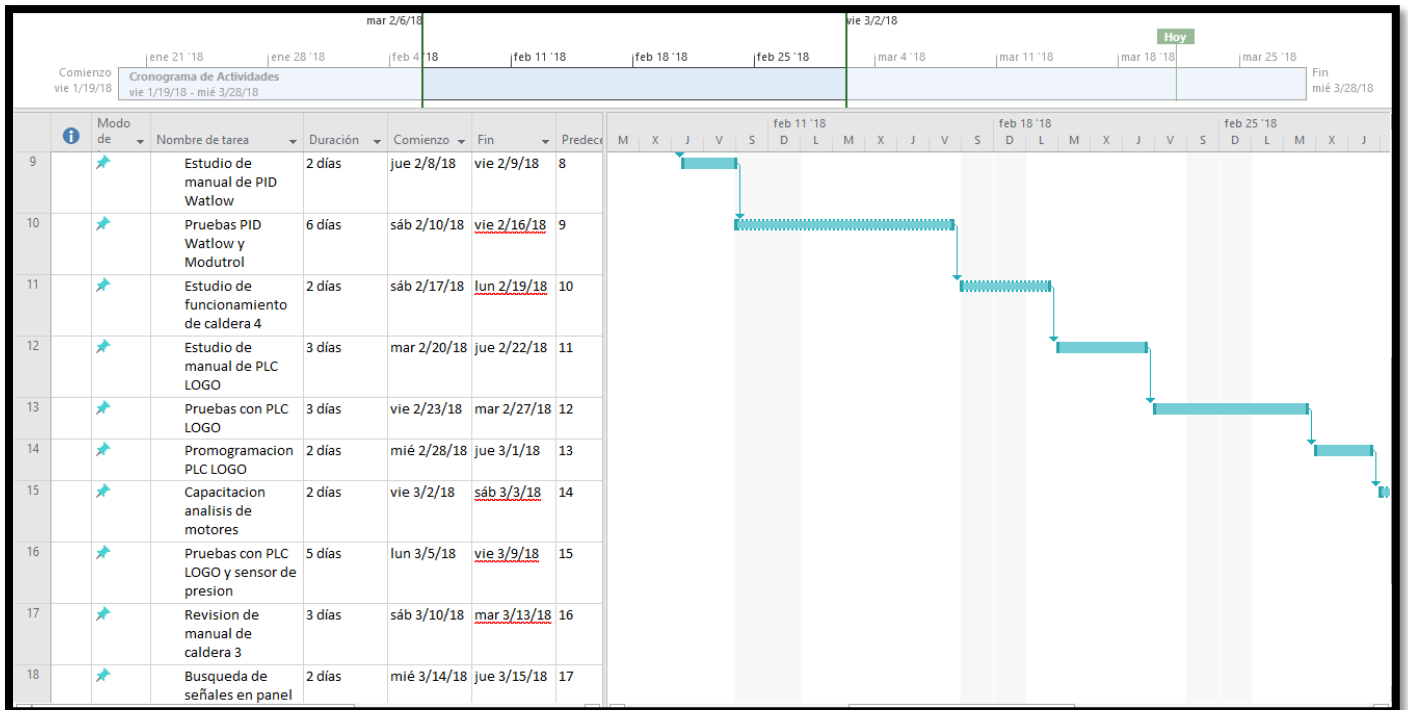
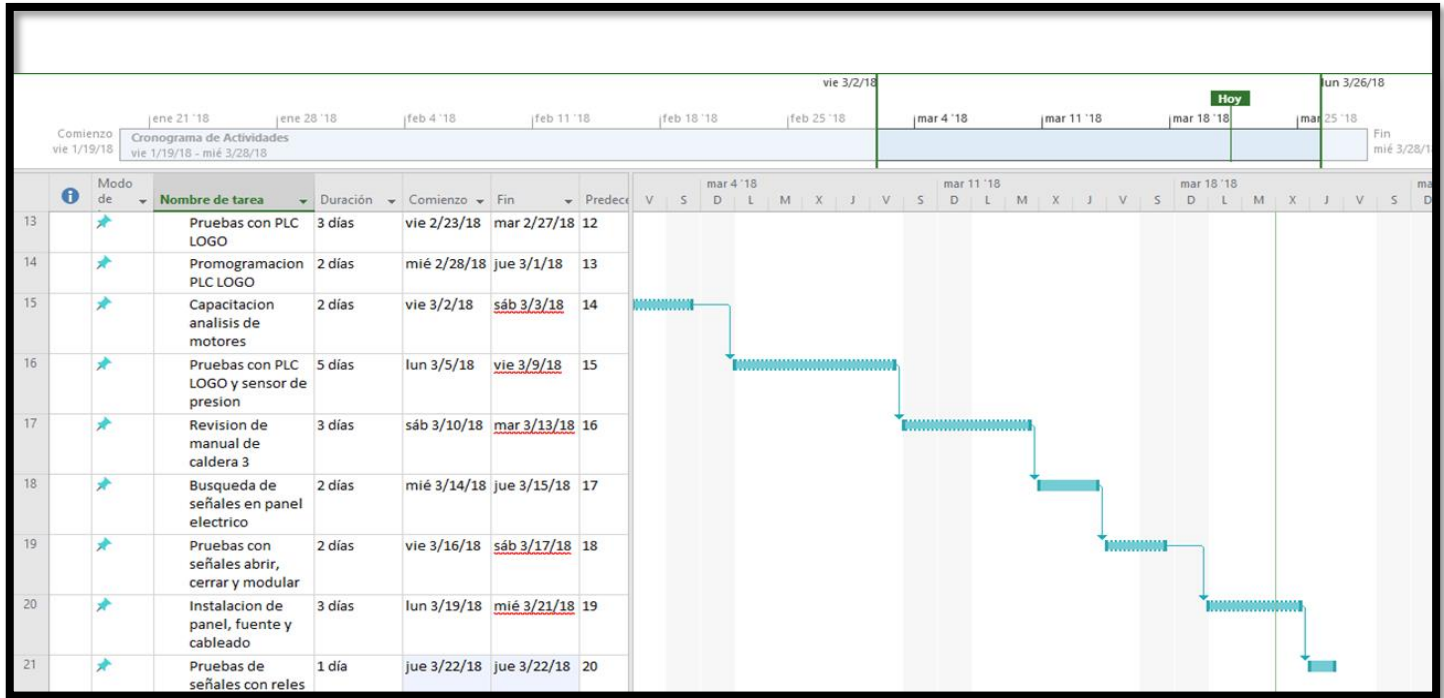


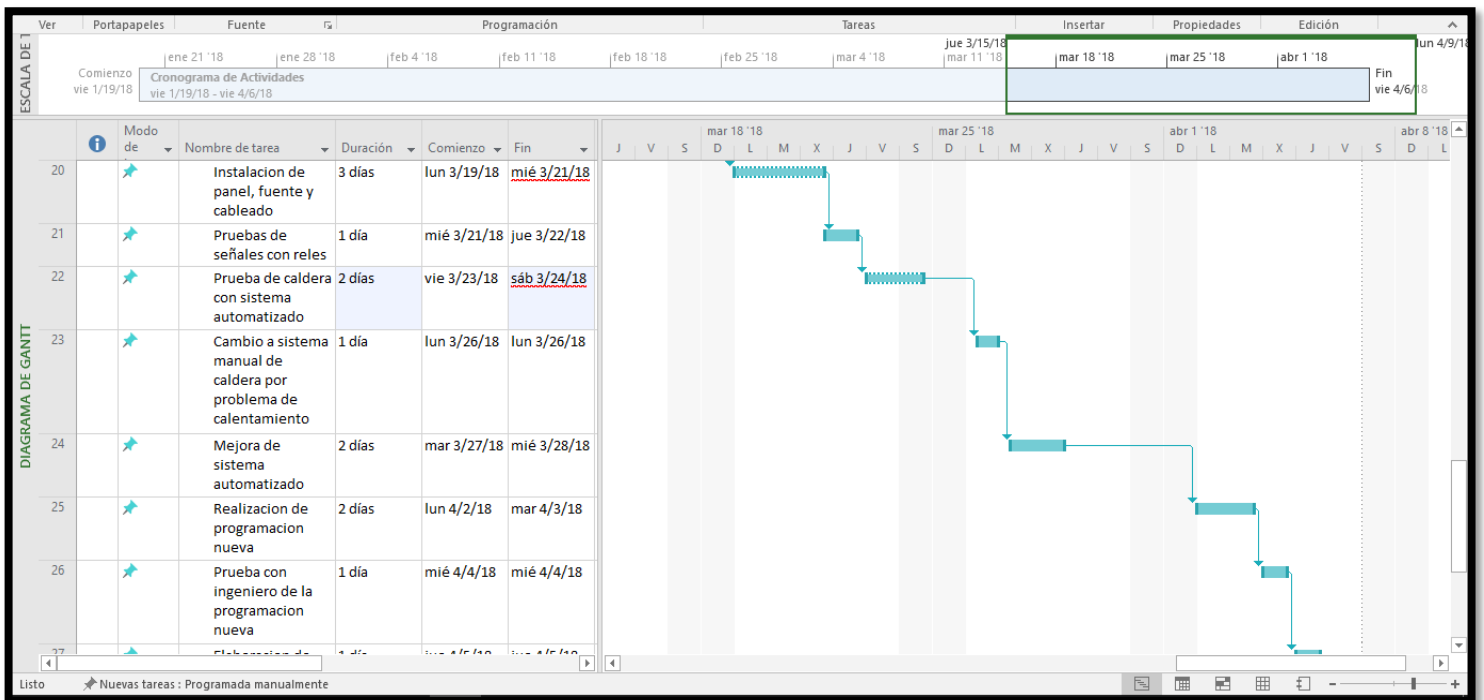
Ilustración 14 Cronograma de actividades

Fuente: Propia.



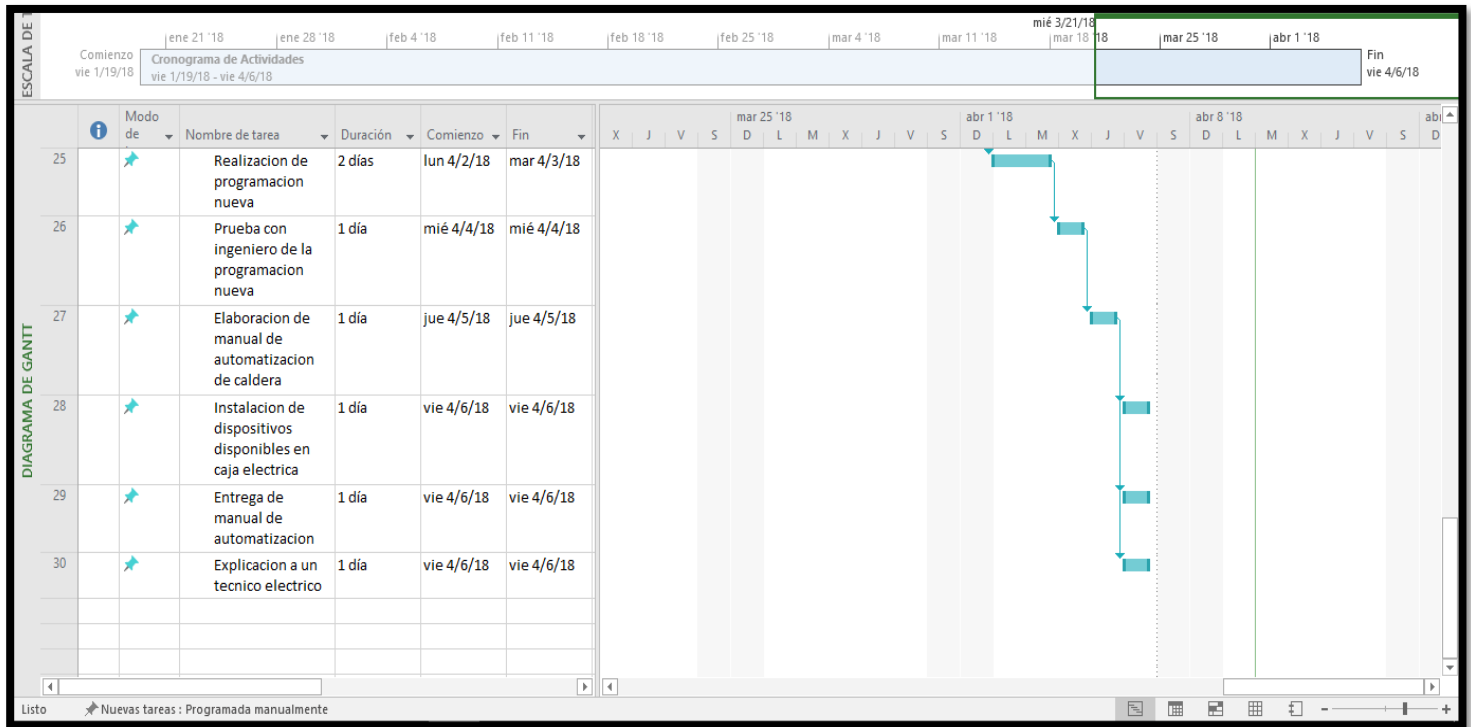
**Ilustración 15 Cronograma de actividades**

Fuente: Propia



**Ilustración 16 Cronograma de actividades**

Fuente: Propia.



**Ilustración 17 Cronograma de actividades**

Fuente: Propia.

## **V. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

En todos los años de operación de la caldera cuatro de biogás, nunca se había tenido trabajando a un 100% de su capacidad, era como tener un Ford Mustang y solo andarlo a 50 kilómetros por hora. Ya que por lo general se operaba a un 50 % de apertura del dámper. Los registros de quema de combustible en la caldera operada en forma manual llegaron a tener un máximo de 180 metros cúbicos por hora y en lapsos no tan largos de tiempo, dato que fue corroborado por los operadores de sala de máquinas que tienen alrededor de 15 años laborando en la empresa. Al poner en marcha la caldera en modo automático, la leva estuvo abriendo el dámper en toda su capacidad ya que los niveles de presión en la tubería de biogás estuvieron más altos del valor seteado de set point en el controlador. La caldera comenzó a operar en modo automático en la tarde del día viernes 23/03/2018 hasta la noche del día lunes 26/03/2018 lapso de tiempo en el cual quemó de 180 a 200 metros cúbicos por hora de biogás de manera constante, mostrando la constante mejoría en la quema de biogás ya que por lo general quemaba 140/150 metros cúbicos por hora. La caldera paro la noche del lunes ya que se registró un sobre calentamiento en la misma, aparte de que los ayudantes de sala de máquinas detectaron unas grietas anormales cercanos al visor de flama, el cual fue reemplazado ya que las altas temperaturas lo dañaron, los siguientes días se procedió a una revisión general de la caldera ya que no se tenía experiencia de la misma operando a su máxima capacidad, por lo cual todo sonido anormal alertó al personal.

En la empresa se maneja una bitácora en los cuales se reportan los trabajos que se realizan en los diferentes turnos con la intención de informar a los jefes y a los técnicos que ingresen a un turno diferente en el cual se llena la bitácora. La caldera comenzó a trabajar el viernes 23/03/2018 disparándose una vez por problemas en el térmico del blower. Antes de realizar la primera prueba de la automatización se tenían previstas varias fallas mecánicas ya que en la caldera como en todo sistema no se pueden determinar fallas si el dispositivo no funciona arriba de un 80% de su capacidad nominal.

Por la noche del viernes 23 y madrugada del sábado 24/03/2018 la caldera estuvo funcionando bien presentando mejoría en la quema de biogás aumentando la eficiencia en porcentaje importante.

El set point en el momento de la primera prueba del sistema automatizado tenía un valor de 5 PSI, esto con la intención de aprovechar todo el biogás con el cual se contaba en esos días (viernes por la noche, sábado, domingo y parte del lunes), que por lo general son de baja producción de combustible en efluentes.

El día lunes 26/03/2018 presento los problemas de calentamiento, por lo cual se pasó a modo manual de nuevo con la intención que las pruebas de reparación fueran controladas por los contratistas y miembros de los compañeros mecánicos de forma más sencilla ya que nadie contaba con la capacitación para controlar el sistema con el PLC.

Todos estos datos se corroboran en las imágenes de la bitácora adjunta en los anexos.

### **5.1 FACTORES QUE AFECTAN EL CONSUMO DE BIOGÁS DE LA CALDERA #4**

Al tener un período cercano a dos meses y medio trabajando en la automatización de la caldera he podido observar cuales son algunos factores que afectan el consumo de biogás.

En una primera instancia el factor que más afecta en el poco aprovechamiento de biogás en la caldera cuatro es el mecanismo actual de lazo abierto controlado mediante potenciómetro que regula directamente la apertura o cierre del dámper, ya que no es un sistema retroalimentado la intervención de un operario es necesaria en lapsos de tiempos cortos, para estar al pendiente de la presión de biogás en las tuberías ya que de este factor depende si se abre o cierra más la leva, para el mayor aprovechamiento de biogás. Los operadores realizan rondas a cada hora para la toma de datos de múltiples equipos presentes en sala de máquinas, dentro de esos equipos se encuentra la caldera de biogás.

El segundo factor que incide en el problema de consumo es la operación manual en sí, ya que, por no decir siempre, en lapsos bastante largos de tiempo la apertura del 50% de la leva se mantiene presente, aunque la presión de biogás en tubería sea alta, se modifica la apertura los días de baja producción de biogás, ya que si se opera a una apertura alta con respecto al biogás disponible la caldera se apaga por problema de flama. Y de este segundo factor se desprenden los últimos dos que incide en los bajos niveles de biogás quemado; un mal concepto de operación afecta de gran forma ya que no se es consciente de la forma que realmente opera la caldera, teniendo como ejemplo el desconocimiento de lo que es estequiometría el cual es un concepto fundamental para potenciar al máximo una caldera, en una oportunidad un operario tenía un mal concepto de operación al expresar que para tener eficiencia alta en la caldera los niveles de oxígeno y combustible no debían ser iguales, lo cual es incorrecto, ya que esos dos factores del triángulo de combustión deben ir de la mano. Lo que provoca tener un mal entendimiento de funcionamiento de la caldera,

ya que no se opera al 100% manual porque se piensa que hacerlo de esa forma se afectaría la válvula mariposa que da paso al biogás.

## **5.2 OPORTUNIDADES DE MEJORA CON LA PRIMER PRUEBA**

Al poder probar el funcionamiento de la caldera unos días en modo automático surgieron otras necesidades en el sistema, para hacerlo más amigable con los usuarios en este caso con los operadores y ayudantes de sala de máquinas, ingeniero jefe del departamento, y equipo de utilidades y mantenimiento de producción de cerveza.

El sábado es el día de menor producción de biogás en la planta de efluentes, el sábado 24/03/2018 se recibió una llamada por parte del personal de sala de máquinas ya que la caldera se apagó en dos ocasiones, esto a causa de que el valor de presión seteado en el PLC era mayor al que se registraba en las tuberías, lo cual sirvió para registrar el valor más bajo de presión el día de menor producción que en valores de 0 a 1000 con los cuales trabaja el LOGO! es de 565 equivalente a 6.6 PSI el cual será el valor del set point final para el controlador, arriba de este valor comenzara abrir el dámper más del 50% y abajo del mismo cerrará el dámper de 50% hacia abajo, siendo 565 el valor al cual podemos encontrar la leva a un 50% de su capacidad. Se realizó una prueba que consistió en apagar el compresor de biogás en efluentes para registrar la presión a la cual la caldera apaga y tira error de flama el controlador, dicho valor es de 4.72 PSI, cuando esto sucede el operario o el ayudante debe ir a presionar el botón de reseteo de error, seguido proceder al arranque de la caldera. Para que el operario o el ayudante se den cuenta que la caldera 4 paro deben observar la lámpara con la que cuenta esta, si está encendida está en operación, si está apagada la caldera está fuera de operación, este proceso puede durar de unos cuantos a varios minutos por lo grande que es el área, tiempo en el cual no se está aprovechando el biogás y a la vez se está consumiendo más



búnker en las otras calderas que están en funcionamiento lo cual es más gasto de dinero. La solución para hacer este proceso más eficiente es realizar el encendido y apagado de la caldera de forma automática leyendo los valores del sensor de presión y aprovechando una entrada análoga y una salida digital del PLC, de esta forma la intervención manual será eliminada, dejándolo puramente automático, en caso llegase a fallar en algún punto el sistema se deja habilitada una alarma que ya estaba previamente instalada que enciende cuando hay subida de presión de esta forma el operario o ayudante tendrá que ir a resetearla a la caldera y a la vez supervisar si esta arranque de nuevo. Siendo 10 PSI el valor con el cual la caldera encenderá y 5 PSI el valor con el cual apagará. De esta forma se puede decir que el proceso pasa a ser más eficiente.

Los valores con los cuales opera el PLC son de 0 a 1000, pero realmente en la aplicación se utilizan de 200 a 1000 ya que la salida es de 4 a 20 mA, donde 200 es 4 mA y 1000 es 20 mA. En el interfaz editable que brinda el PLC se pueden modificar varios parámetros del regulador PI que se utilizó para la modulación automática del mecanismo de admisión de oxígeno y biogás en la caldera, para los operarios o cualquier persona autorizada en modificar parámetros del PLC, el set point es uno que tendrá mayor tendencia de cambio a causa de tener días de mayor o menor producción de biogás y aquí se tomará la decisión de trabajar a alto o bajo fuego. Los valores del set point son modificables en rangos de -10000 a 20000, para las presiones de biogás el rango se disminuye de 200 a 1000, estos rangos representan a su vez un rango de presión, por lo cual si se quisiera realizar un cambio en el set point se tendría que hacer un pequeño cálculo con respecto al dato de presión, por lo cual se puede utilizar la siguiente fórmula

$$\frac{X}{(Y - 200)} = \frac{14.5}{800}$$

**Ilustración 18 Fórmula para encontrar en valores de presión los valores del PLC**

Fuente: Propia

En la cual "X" representa un valor de presión de 0 a 15 PSI.

"Y" representa un valor de ingeniería de 0 a 1000.

De esta forma teniendo un valor de presión podemos conseguir un valor de ingeniería para poder modificarlo en el PLC.

Para hacer más funcional el sistema y evitar errores que puedan afectar la seguridad y la eficiencia del sistema, se tomó a bien realizar una programación para escalar los datos de ingeniería a datos de presión y modificarlos a través de un potenciómetro exclusivo modo auto que reflejara los valor en una pantalla que se desplegará en el LOGO siempre y cuando se esté en modo automático, de esta forma se facilita la edición del set point para los usuarios ya que no entrarán al sistema de programación general, así se hace más eficiente el sistema.

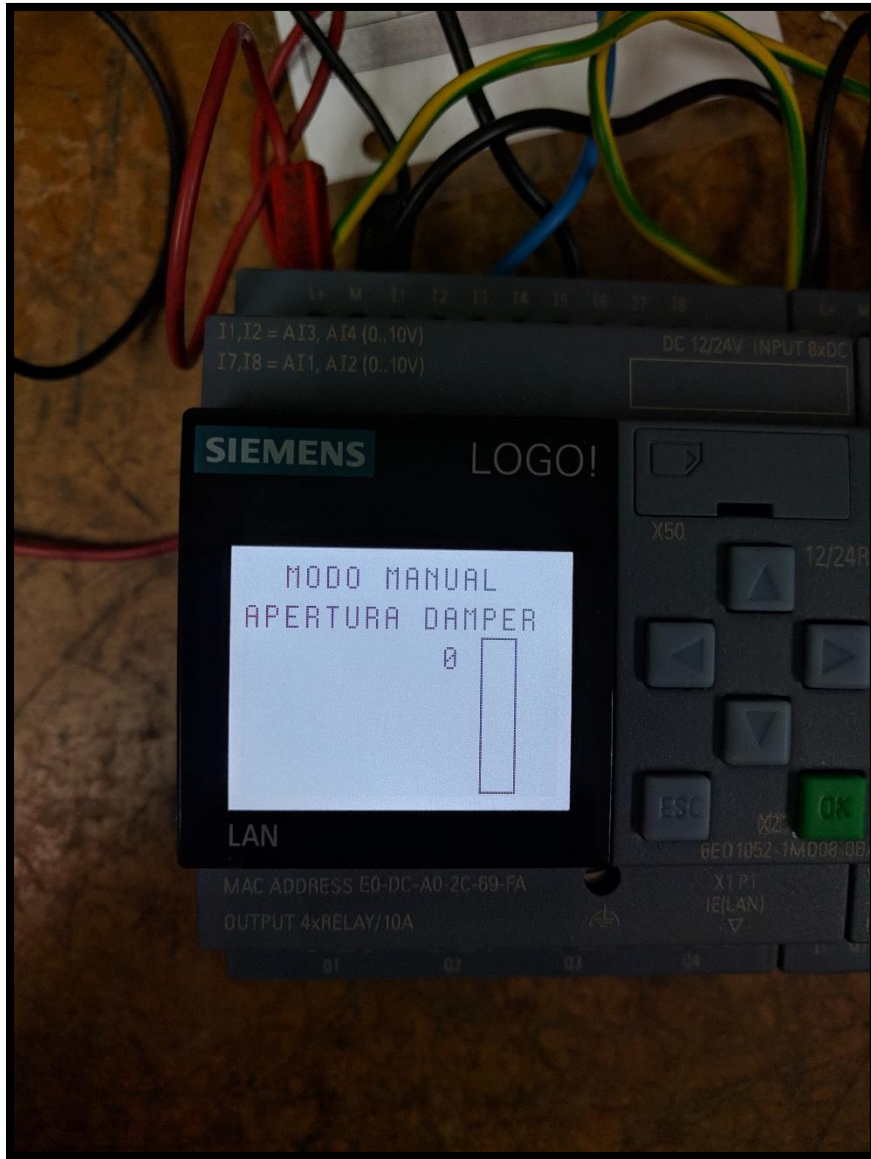


**Ilustración 19 Visualización display modo automático**

Fuente: Propia

De esta forma se visualizará la pantalla en modo automático en la cual el operador o quien esté autorizado para modificar datos podrá manipular y verificar el valor del set point, en la programación final se agregó la visualización del porcentaje de apertura del dámper de la caldera con la intención de que puedan verificar este dato de importancia. (Los valores de la pantalla aparecen de esa manera ya que solo se probó la visualización y no en funcionamiento).

Cuando se ideó lo del display modo automático también se tomó a bien tener un display de modo manual.



**Ilustración 20 Visualización display modo manual**

Fuente: Propia

En este caso el operador podrá visualizar el porcentaje de apertura del dmper que será proporcional al control con el potencmetro exclusivo de modo manual, todo esto pensando en hacer más amigable el sistema de automatización.

La probabilidad que suceda una falla en la caldera si se dejase la modificación del set point en el bloque de la programación podría rondar los valores cercanos al 100% ya que en ese mismo bloque se encuentran otros parámetros que no se deben modificar para nada ya que de hacerlo el resto del programa se vería afectado pudiendo resultar en una tragedia. Con el sistema realizado ese porcentaje cercano a un 100% se disminuye de forma considerable ya que no hay sistema que no presente probabilidad de falla por una mala praxis humana.

La seguridad es un pilar importante, probablemente el eje fundamental de CHSA, por lo cual tener mecanismos de seguridad en la programación y pensar la misma en base a fallas fue prioridad.

### **5.3 INSTALACIÓN DE COMPONENTES EXISTENTES EN CAJA ELÉCTRICA**

La caldera no quedo con el sistema de automatización debido a que el día miércoles 03/04/2018, por una mala praxis de un operador la caldera se sobrecalentó presentando problema especialmente en el dámper, llego el día viernes 06/04/2018 el cual finalizaba mi período de práctica y la caldera seguía sin repararse, sumado a este problema la compra de componentes se realizó en semana santa por lo cual no habían ingresado a la empresa a excepción de la caja eléctrica.



**Ilustración 21 Dámper en reparación por sobrecalentamiento**

Fuente: Propia

Gracias al sobrecalentamiento en la caldera el dámper se expandió excediendo los límites permisibles, provocando que la caldera no pueda entrar en funcionamiento.



**Ilustración 22 Vista de componentes existentes en caja eléctrica**

Fuente: Propia

Los componentes necesarios para el proyecto no fueron solicitados en un tiempo prudente para la realizar el montaje en la caja eléctrica de todos los componentes por lo cual, se realizó solamente solo con los que se contaban.

#### **5.4 MANUAL DE AUTOMATIZACIÓN Y PROGRAMACIÓN**

Por razones de ser un proyecto de suma importancia para la empresa, por el ahorro económico que significa para la misma, se solicitaron ciertos requisitos de programación para potenciar al máximo la caldera sin descuidar la parte de seguridad de la misma, así como que todos los bloques de la misma estuvieran claramente señalizados y comentados. También se solicitó un manual en el cual se pudieran apoyar en casos de tener alguna duda de alguna parte del sistema, o por perdida del back up existente en la computadora donde están los respaldos de todos los sistemas automatizados de la planta de cerveza.

La idea del manual es brindar una herramienta de utilidad para todo aquel que no haya tenido experiencia previa con el software y programa puedan desplazarse de manera fácil y práctica.

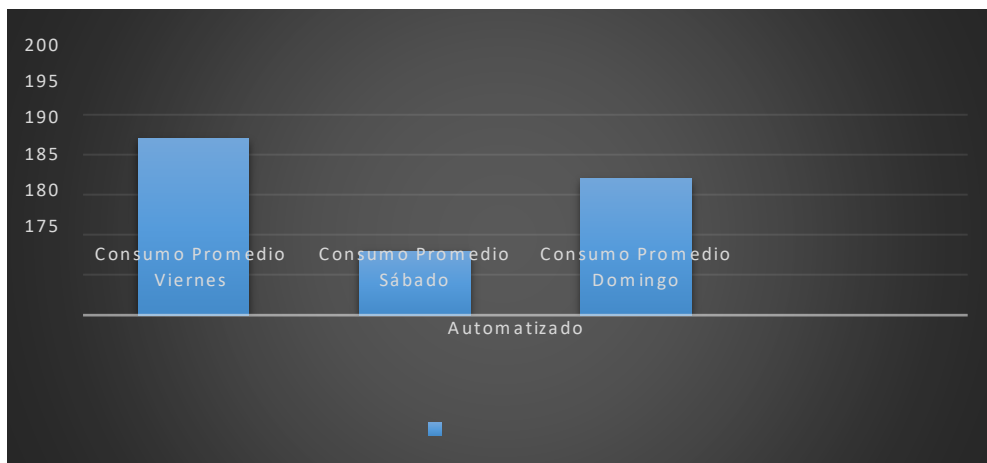
Un aspecto importante en la programación es el orden, ya que si viene alguien ajeno a la elaboración del programa podría tenderse a perder, así como la identificación de todas las entradas, salidas, bloques y marcas utilizadas con la intención de tener claramente establecido un panorama del funcionamiento del programa. Por cuestiones de que el programa solo fue socializado con el ingeniero jefe del departamento y un miembro de los técnicos eléctricos de mantenimiento y utilidades, el programa se encuentra comentado, explicando la funcionalidad de los bloques más importantes utilizados en el programa.

Otro aspecto fundamental de programación es la seguridad, uno siempre debe programar pensando que hasta lo más improbable puede suceder, en pocas palabras programar pensando en que los que harán uso del sistema son las personas más propensas a cometer un acto inseguro. Dentro del manual de automatización se agregó lo que es la explicación de la programación. El manual se encuentra en el apartado de los anexos.



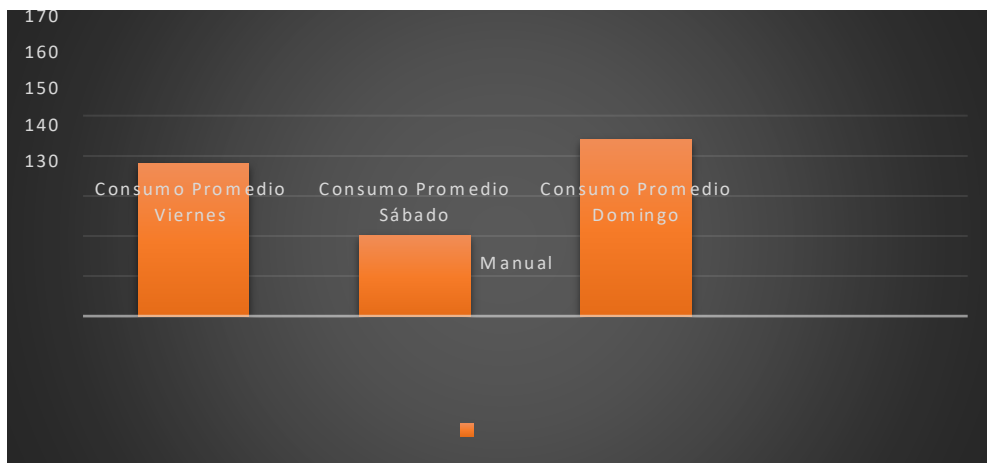
## 5.5 BENEFICIOS DEL PROYECTO

La automatización de la caldera era algo que se tornaba primordial por cuestiones de ahorro mencionadas anteriormente, el proyecto de las calderas anteriores fue desarrollado por la empresa R Y D Industrial cobrando 180,000 lps por cada una. Con el proyecto realizado de automatización los insumos no pasarán los 35,000 lps generándose un ahorro importante en cuestiones tan solo instalación.



**Ilustración 23 Consumo promedio de la caldera #4 de los días 23,24 y 25 de marzo de forma automatizada**

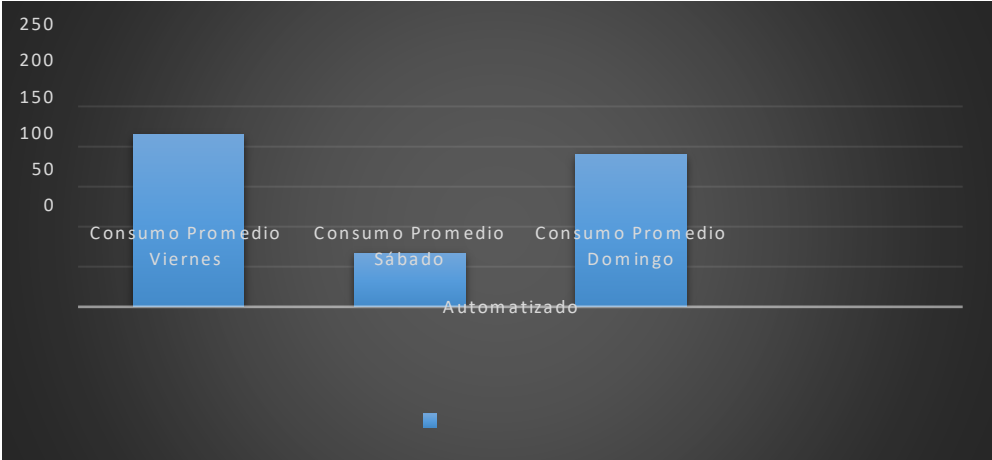
Fuente: Propia.



**Ilustración 24 Consumo promedio de la caldera #4 de los días 27, 28 y 29 de marzo de forma manual**

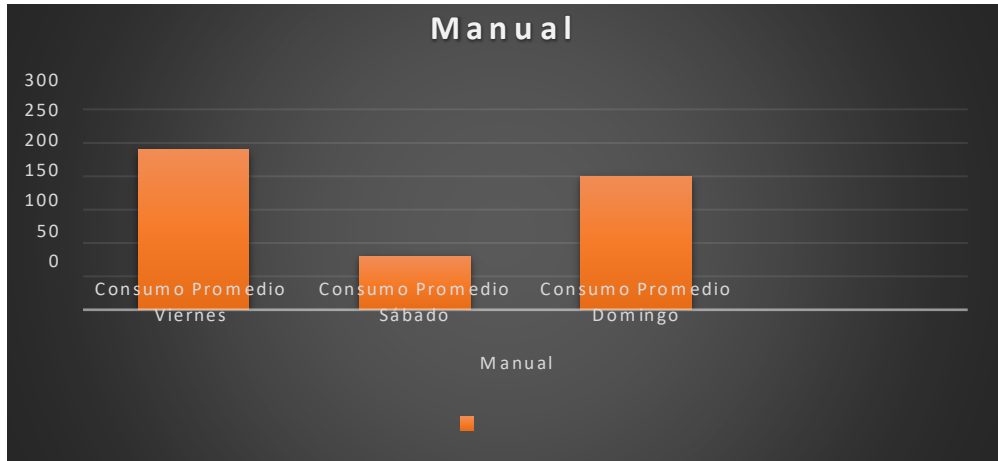
Fuente: Propia.

El consumo de biogás promedio aumento considerablemente los días en que la caldera opero de forma automática, ya que estaba seteada para quemar todo el biogás que le fuese posible, y esto fue en su prueba inicial, es decir no se conocían datos de consumo mínimo, por lo cual con la próxima implementación del sistema completo se prevé que aumentaran estos valores, las personas que tienen tiempo de estar trabajando con estos dispositivos se sorprendieron al ver al dâmpen abierto al 100%, y lo mejor de todo es que le ayuda a consumir más combustible que para la empresa es gratis.



**Ilustración 25 Consumo promedio de caldera #5 de los días 23,24 y 25 de marzo con la caldera #4 automatizada**

Fuente: Propia.



**Ilustración 26 Consumo promedio de caldera #5 de los días 29, 30 y 31 de marzo con la caldera #4 sin automatizar**

Fuente: Propia.

Como se esperaba desde un inicio el consumo de la caldera de turno de búnker iba a disminuir a medida la caldera de biogás comenzara a ser más eficiente, y esto representa un ahorro importante para la empresa por cuestiones que el búnker es un combustible que se debe comprar, no se pudo probar el sistema en los días donde hay más demanda de vapor, por lo cual se espera que los niveles de galones de búnker se reduzcan.

## VI. CONCLUSIONES

Se le llama también síntesis y no es más que la interpretación final de todos los datos con los cuales se cierra la investigación iniciada. Sintetizar es recomponer lo que el análisis ha separado, integrar todas las conclusiones y análisis parciales en un conjunto coherente que cobra sentido pleno. (Sabino, 1992).

Como resultado de múltiples investigaciones, pruebas de laboratorio y de campo, con el apoyo teórico de operadores se desarrolló la automatización del mecanismo de admisión de oxígeno y biogás de la caldera #4 utilizando un PLC LOGO! con el cual se mejoró en un 20% la eficiencia de la combustión.

- Con la implementación del sistema automatizado se demostró un notable aumento del 18% de biogás quemado en la caldera #4, sustentado por los datos de consumo de la misma.
- Un 12% fue lo que se redujo el consumo de búnker en el tiempo de operación de las calderas uno, dos, tres, y cinco, presentando oportunidad de mejora los días de alta demanda.
- Lapsos del dámper al 100% de forma continua se registraron los días que estuvo operando la caldera con el sistema automático.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **7.1 PARA LA EMPRESA**

- Crear un plan elaborado de actividades para practicantes para poder tener una mejor distribución de actividades durante la jornada laboral.
- Capacitar a los operarios y ayudantes de sala de máquinas en calderas con la intención de potenciarlos tanto en la parte teórica, así como en habilidades prácticas con la intención de mejorar la productividad para la empresa.

### **7.2 PARA LA UNIVERSIDAD**

- Antes de recomendar quiero agradecer a la universidad y maestros por la excelente formación que nos brindó, aunque hay algunas áreas de mejora, salimos preparados para afrontar los ambientes laborales.
- Creo que los ingenieros mecatrónicas salimos con cierto déficit en algunas áreas fundamentales en el campo laboral que se podrían solventar implementado para el plan de estudios la clase de instalaciones eléctricas en la cual aparte de lo referente a la clase se enseñe como realizar e interpretar circuitos de mando.
- Los controles PID son de muchísima utilidad en las industrias por sus competencias funcionales y económicas, por lo cual integrar su enseñanza en la clase de PLC se traduciría en un aumento de competitividad para los ingenieros mecatrónicas.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Alí José Carrillo Paz. (2011). *Sistemas Automáticos de Control: Fundamentos Básicos de Análisis y Modelado*. Santa Rita, Edo. Zulia, Venezuela: UNERMB.

Aquilino Rodríguez Penin. (2011). *Sistemas SCADA* (3ª). Barcelona, España: Marcombo.

Brian W. Evans. (2007). *Arduino Notebook* (1ª). San Francisco, California, USA: Creative Commons. Recuperado a partir de <http://www.arduino.cc/en/Booklet/HomePage>

C. Ray Asfahl, & David W. Rieske. (2010). *Seguridad Industrial y administración de la salud* (6ª). México D.F.: Pearson Educación.

C. Sabino. (1992). *El Proceso de Investigación*. Caracas: Panapo.

David G. Alciatore, & Michael B. Hstand. (2008). *Introducción a la Mecatrónica y los Sistemas de Medición* (3ª). McGraw-Hill.

Frederick M. Steingress, Harold J. Frost, & Daryl R. Walker. (2003). *High Pressure Boilers* (3ª). Columbia, USA: Amer Technical.

Jorge Félix Fernandez. (2012). PODER CALORIFICO. WEG AESPERU.

Jack Gido and James Clements. (2012). *Administración exitosa de proyectos* (Quinta). México D.F.: Cengage Learning.

José M. Domínguez Cerdeira. (2013). Combustión. En *Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*. Madrid, España.

- Katsuhiko Ogata. (2010). *Ingeniería de Control Moderna* (5ª). Madrid, España: Pearson Educación.
- Kumar Rayaprolu. (2012). *Boilers : A Practical Reference* (1ª). USA: CRC Press.
- Leonel Corona Ramírez, Griselda Abarca Jiménez, & Jesús Mares Carreño. (2014). *Sensores y Actuadores* (1ª). Azcapotzalco, México: Grupo Editorial Patria.
- M. Moreno. (2013). CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC). Automación Micromecánica s.a.i.c. Recuperado a partir de <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLogicoProgramablePLC.pdf>
- María Teresa Varnero Moreno. (2011). Manual de Biogás. CHI/00/G32. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Mohammad Malek. (2006). *Heating Boiler Operator's Manual: Maintenance, Operation, and Repair* (1st Ed.). San Francisco: McGraw-Hill Education.
- Pablo Garrido Otaola. (2013). Quemadores. En *Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*. Madrid, España.
- Pedro Abarca Bahamondes. (2016). Descripción de Calderas y Generadores de Vapor. ACHS. Recuperado a partir de <http://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/descripcion-de-caldera-y-generadores-de-vapor.pdf>

Ramón Pallás Areny. (2003). *Sensores y Acondicionadores de Señal* (4ª). Barcelona, España: Marcombo.

Ramón Ruíz. (2007). El Método Científico y sus Etapas. Recuperado a partir de <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0256.pdf>

Robert H. Kuss. (2009). *Steam Boilers*. USA: Merchant Books.

SIEMENS. (2003). LOGO! Postfach 4848. Recuperado a partir de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Log\\_o\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Log_o_s.pdf)

Universidad Andres Bello. (2007). Las Variables. Recuperado a partir de <http://mey.cl/apuntes/variablesunab.pdf>

V. Ganapathy. (2002). *Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators*. USA: Marcel Dekker.

W. Bolton. (2013). *Mecatrónica: Sistema de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica* (5ª). Alfaomega.

W. H. Servens. (1982). *La producción de energía mediante el vapor de agua*. Barcelona, España: Reverté.

William H. Hayt, Jack E. Kemmerly, & Steven M. Durbin. (2012). *Análisis de Circuitos en Ingeniería* (8ª). México D.F.: McGraw-Hill.



Wilson, R. D. (2008). *Boiler Operator's Workbook* (4<sup>a</sup>). USA: American Technical

Publishers. Recuperado a partir de

<https://books.google.hn/books?id=UZscnwEACAAJ>

## IX. ANEXOS



MANUAL DE AUTOMATIZACIÓN DE MECANISMO  
DE ADMISIÓN DE OXÍGENO Y COMBUSTIBLE EN  
CALDERA #4 CON CONTROLADOR LOGO

## ÍNDICE

I. Introducción .....	67
II. Objetivo del manual .....	67
III. Estructura del Logo! .....	68
IV. Programación.....	71
V. Guía de Operación de caldera 4 de biogás .....	81
VII. Guía de reconexión para pasar de sistema automatizado a sistema manual (sistema viejo) .....	82
VII. Agradecimientos.....	87

## **A. INTRODUCCIÓN**

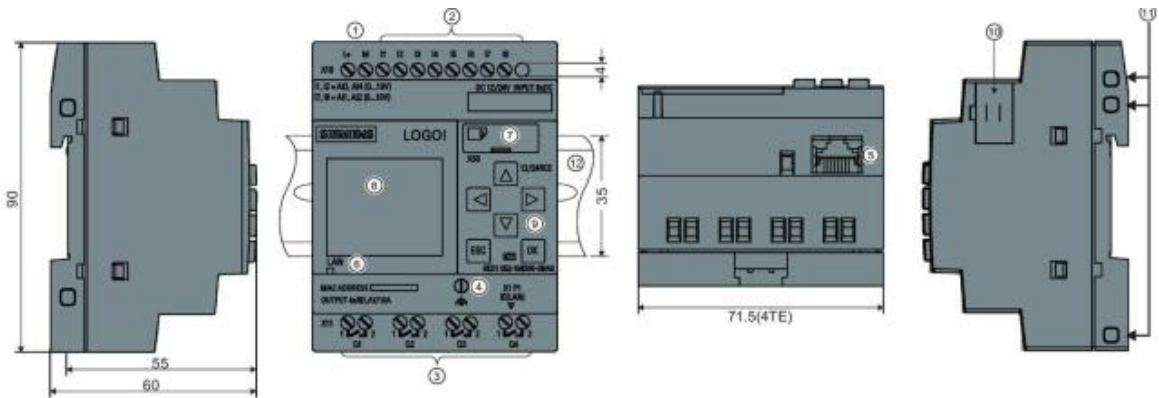
Cervecería Hondureña S.A. presenta un problema; el consumo poco automático de oxígeno y combustible en la caldera pirotubular #4, causado por el control manual mediante un potenciómetro del mecanismo de admisión de oxígeno y biogás realizado por el operario en turno de sala de máquinas.

El proyecto consistió en la automatización del mecanismo de admisión de oxígeno y biogás con un controlador LOGO el cual estará seteado en un rango de valores de presión que asegurarán una óptima estequiometría en la combustión de la caldera.

## **B. OBJETIVO DEL MANUAL**

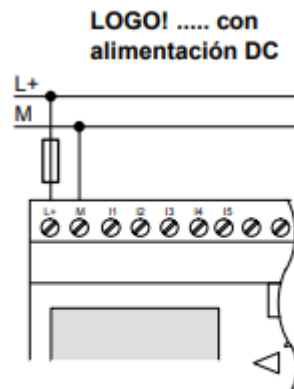
Este manual de automatización explica la conexión, la programación y las diferentes aplicaciones del proyecto.

### C. ESTRUCTURA DEL LOGO!



- |  |   |
|--|---|
| ① Fuente de alimentación                                     | ② Entradas                                  |
| ③ Salidas  | ④ Borne FE para conectar la toma de tierra  |
| ⑤ Interfaz RJ45 para la conexión a Ethernet (10/100 Mbits/s) | ⑥ LED de estado de la comunicación Ethernet |
| ⑦ Slot de tarjetas micro SD                                  | ⑧ LCD                                       |
| ⑨ Panel de control   | ⑩ Interfaz de ampliación                    |
| ⑪ Conectores hembra de codificación mecánica                 | ⑫ Perfil normalizado                        |

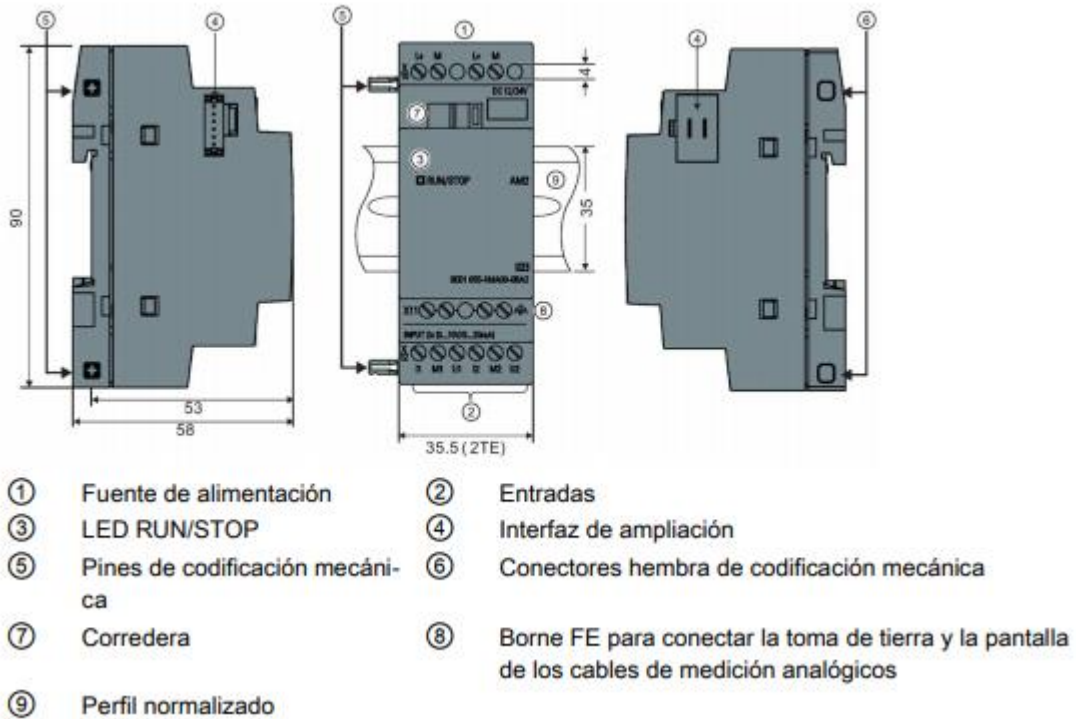
Para el proyecto se utilizó el logo 0BA0 cuya alimentación es de 24/12 VDC, utilizando 24 VDC esta ocasión.



Protección mediante fusible si se desea (recomendada) para:  
 12/24 RC...: 0,8 A  
 24: 2,0 A

En este caso no se utilizó fusible de seguridad al momento de conectar el LOGO!

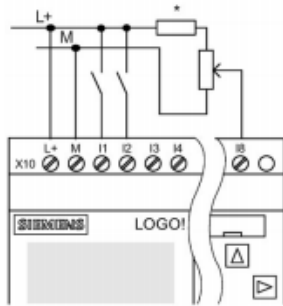
## LOGOI AM2



Se utilizó un módulo de expansión análogo para entradas y un módulo de expansión análogo para salidas, debido a que en el dispositivo LOGO con el que se cuenta no se puede agregar sensores con señales de 4 a 20 mA, y en el proyecto se cuenta con al menos un sensor de este tipo. Los módulos se alimentan con 24 VDC y se conectan entre ellos y con el PLC a través del interfaz de ampliación el cual debe ser asegurado con la guía deslizante una vez esté conectado.

El LOGO! de las 8 entradas digitales con la que se cuentan, se pueden configurar cuatro como entradas digitales de 0 a 10V, al utilizar alimentación de 24 VDC es necesario realizar un divisor de voltaje colocando una resistencia en serie cuyo valor dependerá del valor del potenciómetro si es este el sensor que se desea utilizar.

## LOGOI 12/24... y LOGOI 24...

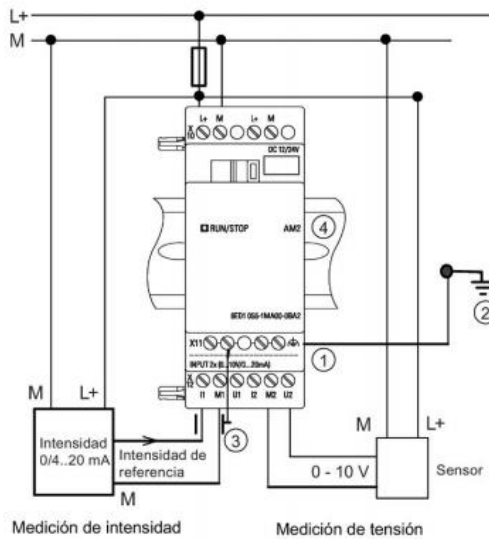


Las entradas de estos dispositivos no están aisladas galvánicamente, por lo que requieren el mismo potencial de referencia (masa).

Los módulos LOGOI 12/24RCE/RCEo y LOGOI 24CE/24CEo pueden tomar señales analógicas entre la tensión de alimentación y la masa (\* = resistencia serie (6,6 kΩ) con 24 V DC).

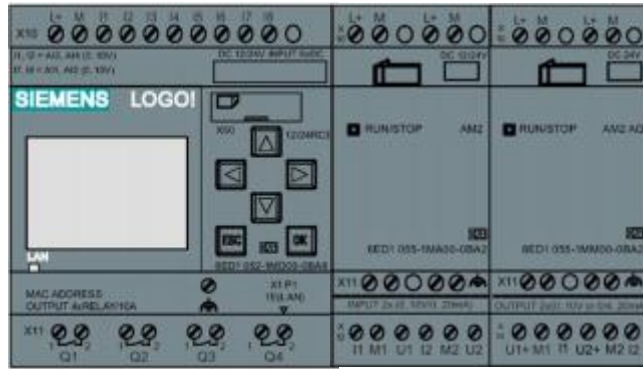
Siendo ese valor de 6.6k ohmios variable dependiendo del potenciómetro como se mencionó anteriormente.

## LOGOI AM2



- |  |                      |
|--|----------------------|
| ① Borne FE para la conexión a tierra y apantallado del cable de medición analógico | ③ Pantalla de cable  |
| ② Tierra   | ④ Perfil normalizado |

Diagrama de conexión de sensores tanto de 0/4 a 20 mA de 4 hilos como de 0 – 10V de dos hilos para el módulo AM2.



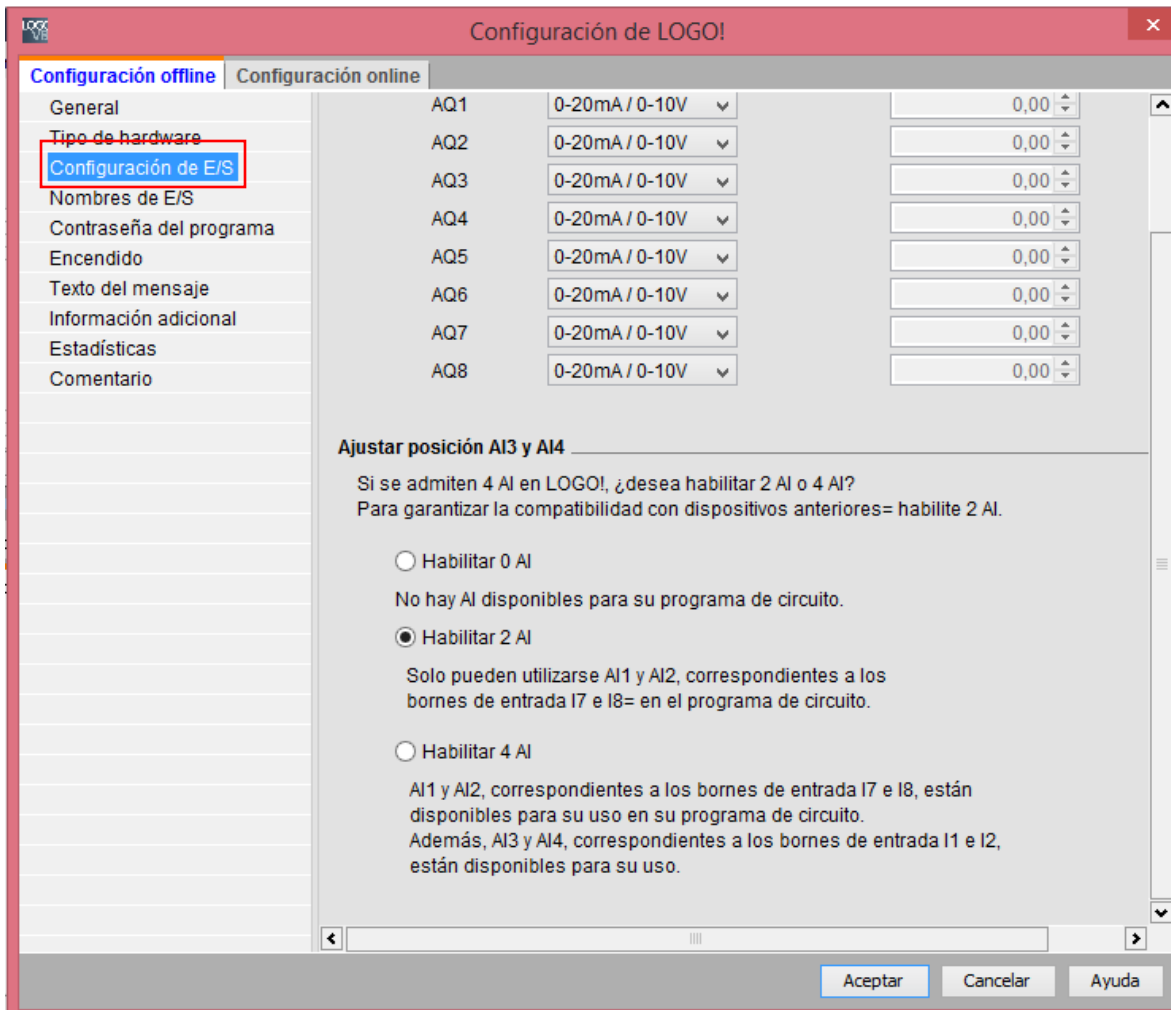
En este caso esta es la visualización física que se tiene del controlado utilizado en este proyecto de automatización.

#### D. PROGRAMACIÓN

TABLA DE ENTRADAS Y SALIDAS			
11	NOT USED	<b>Q1</b>	ON / OFF SISTEMA
12	CLOSE DÁMPER	<b>AQ1</b>	POSICIÓN DÁMPER
13	MODULATE		
14	OPEN DÁMPER		
15	SELECTOR AUTO		
16	SELECTOR MANUAL		
17	SELECTOR ON		
18	USE HOW AI2		
AI2	POTENCIÓMETRO SET POINT		
AI5	SENSOR DE PRESIÓN		
AI6	POTENCIÓMETRO APERTURA DÁMPER MANUAL		

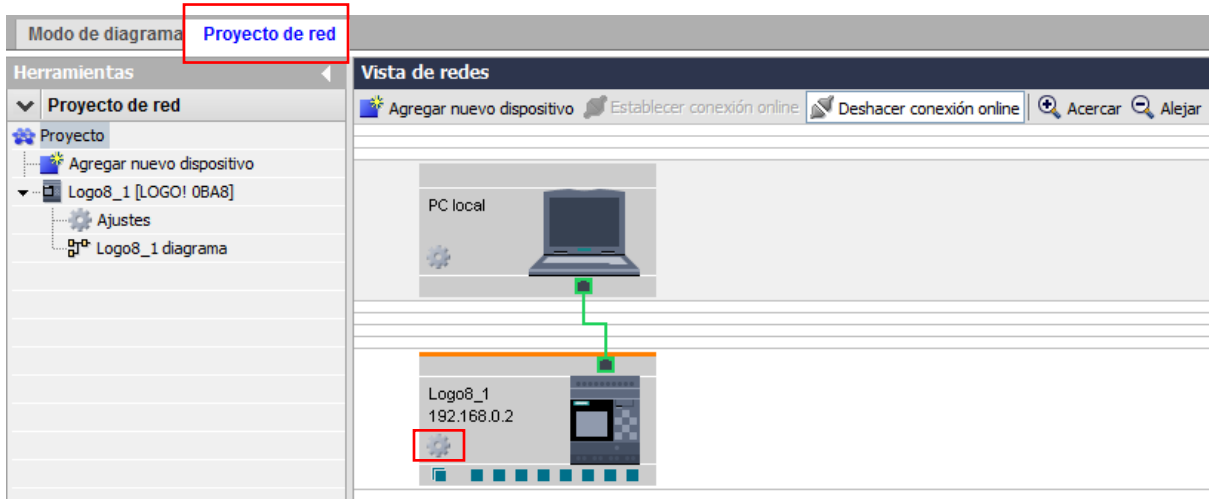
Tabla donde se resume la asignación de entradas y salidas a cada una de las señales presente en el sistema.



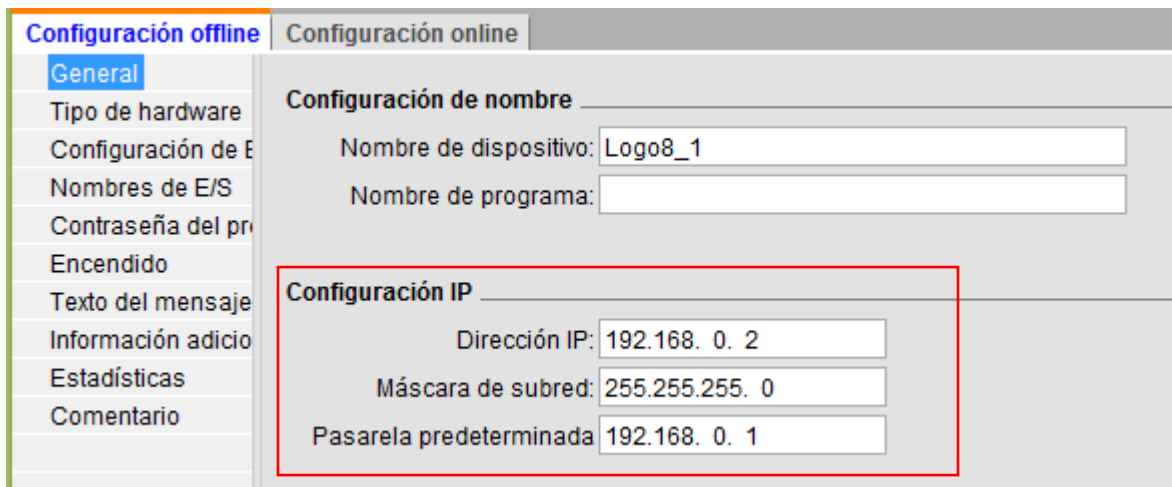


En esta configuración podremos habilitar las entradas análogas disponibles en el LOGO, considerando que estas solo pueden ser utilizadas para sensores que tengan una señal de 0 a 10 V. También podemos seleccionar el tipo de valor de salida análogo, ya sea de 0-20mA/0-10V o de 4 a 20 mA. Para ingresar a esta configuración primero debes dar click en el símbolo de engranaje presente en la imagen del LOGO.

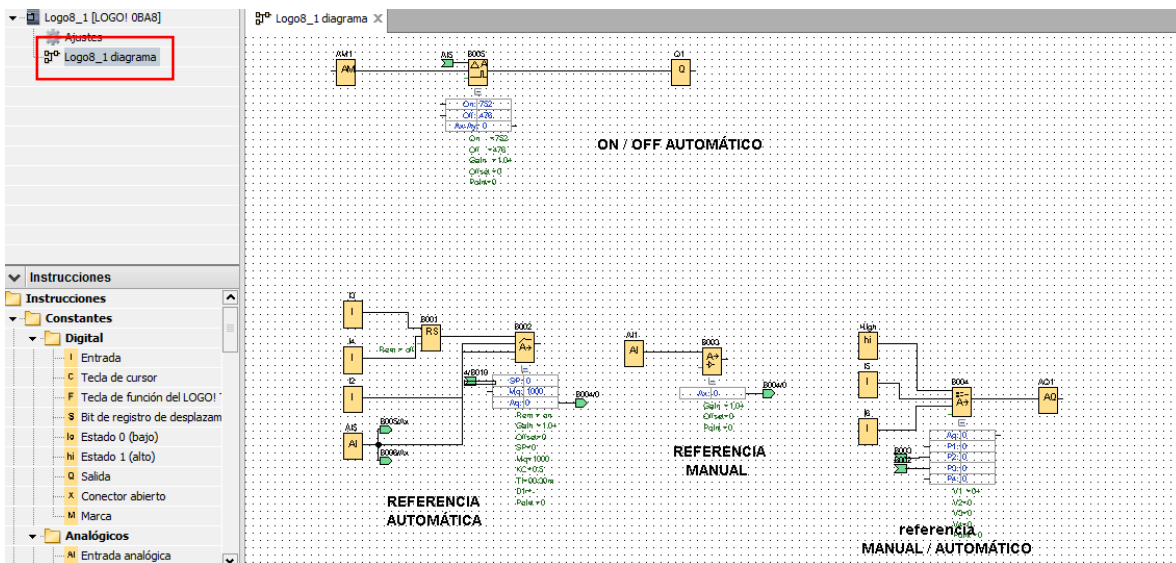
Al momento querer realizar cualquier modificación sobre el programa es importante es necesario seguir los siguientes pasos.



Seleccionar la opción proyecto de red, seguidamente dar click en el engranaje que aparece debajo de la dirección IP del dispositivo LOGO!



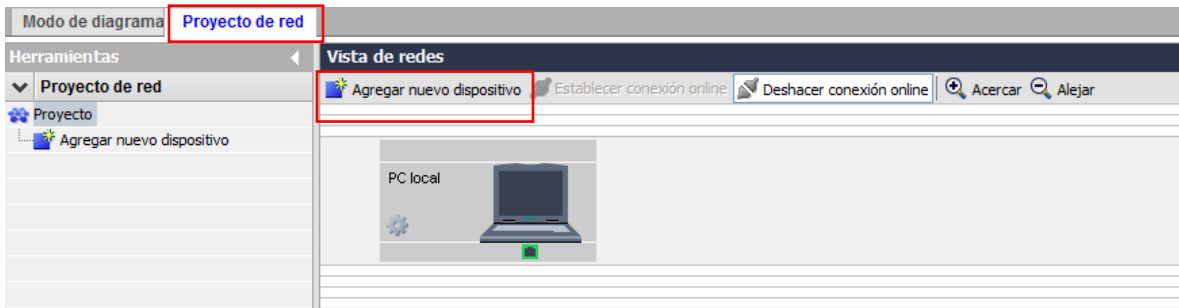
Seguidamente aparecerán los valores de la configuración IP necesarios para realizar una conexión de red, en este caso los valores del recuadro rojo deben coincidir con los que se encuentran configurados en el PLC.



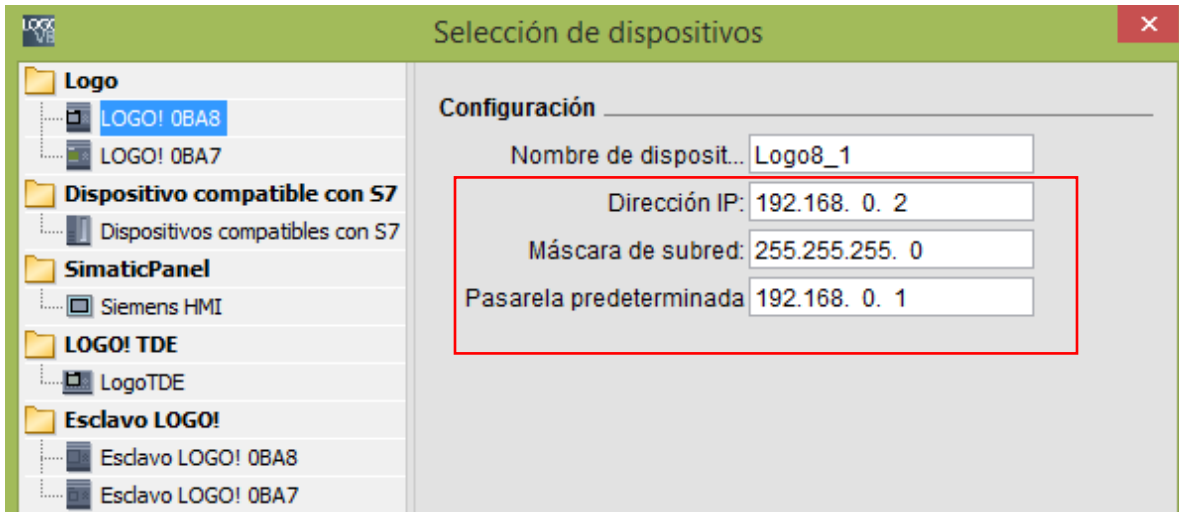
Luego dar click en el diagrama del recuadro rojo que se desprende del dispositivo de control. Aquí ya se expande la programación realizada en bloques configurables

por cualquier ajuste que se requiera realizar. Al terminar las modificaciones se debe proceder a subir el programa de nuevo dando click en el botón de transferir de PC a LOGO!, antes de realizar la transferencia el software solicitará una contraseña, la cual es "LOGO".

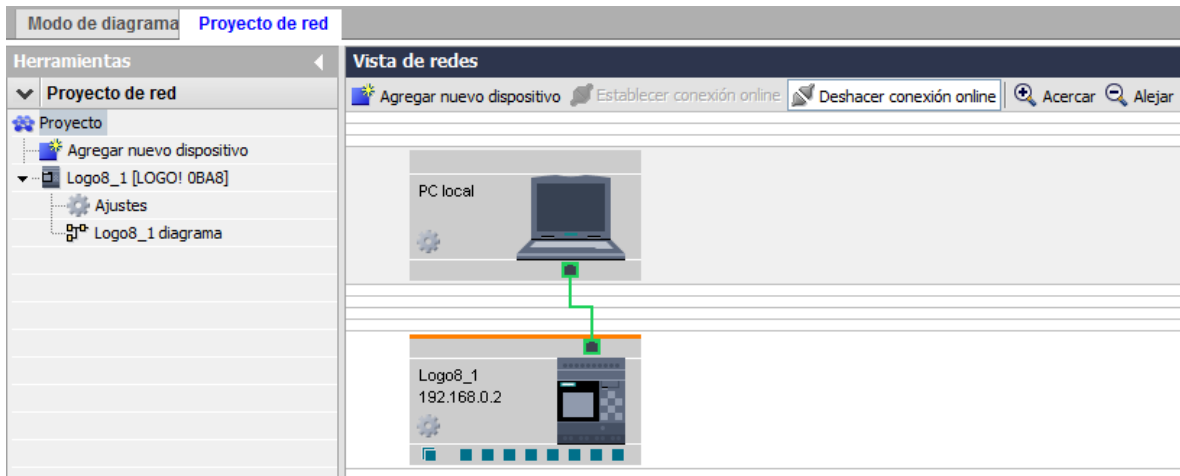
Si se llegase a perder el programa en la computadora donde está guardado se deben seguir los siguientes pasos para extraerlo del controlador.



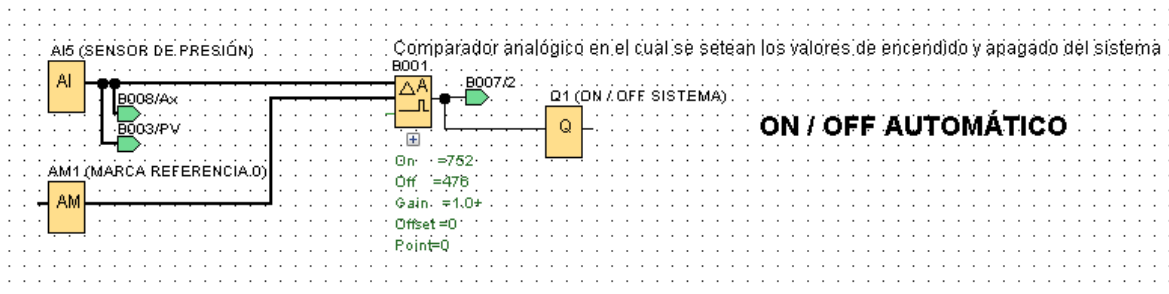
Dar click en proyecto de red, y seguidamente seleccionar la opción "Agregar nuevo dispositivo".



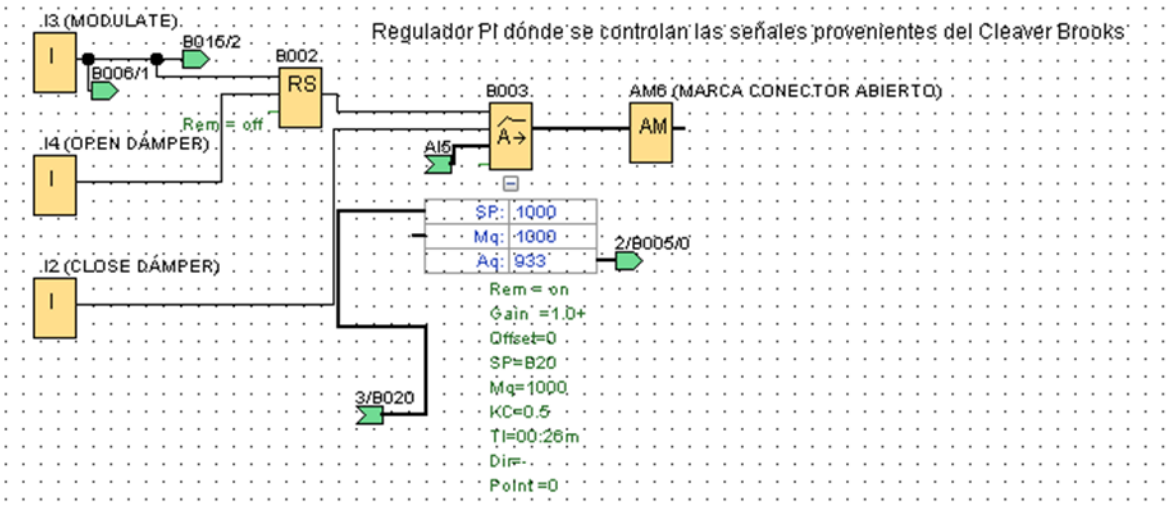
Se debe seleccionar el modelo de LOGO! con el que se cuenta, en este caso es la primera opción, seguidamente proceder a verificar que los valores del recuadro rojo sean los mismos en el PLC.



Una vez agregado el dispositivo de control, se selecciona la opción transferir de LOGO! a PC, de igual forma el software solicitará una contraseña la cual sigue siendo la misma mencionada anteriormente "LOGO".

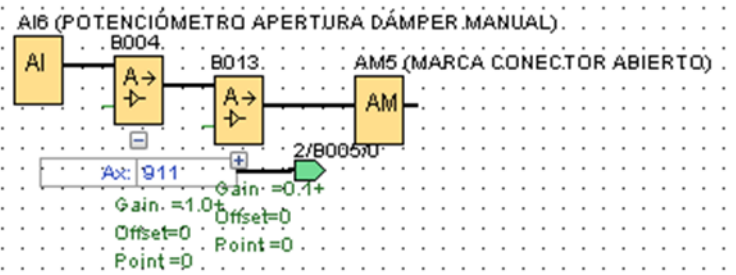


El encendido y apagado del sistema de la caldera serán controlados por valores seteados en el bloque comparador B001 con la lectura del sensor de presión de biogás.



**REFERENCIA AUTOMÁTICA**

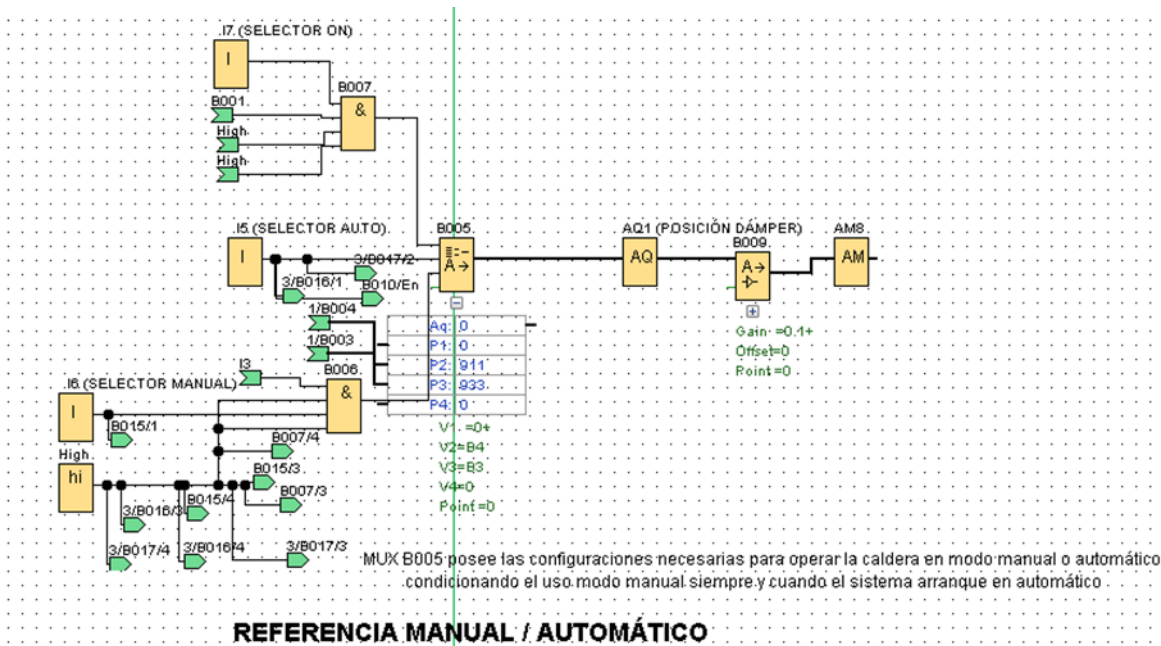
Se tienen unos bloques de programación que realizan una referencia automática (modulación automática mediante el bloque PI B003), en los cuales entran las señales de OPEN, CLOSE and MODULATE provenientes del controlador Cleaver Brooks, la cuales son necesarias para el proceso de funcionamiento de la caldera.



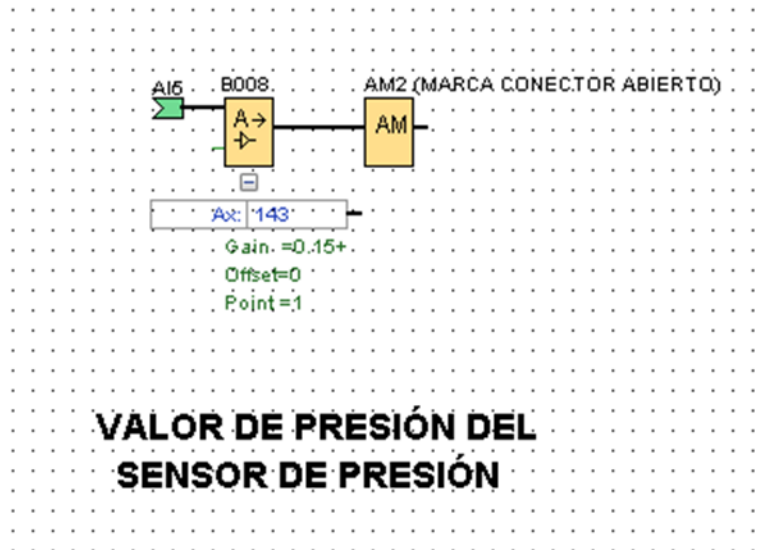
Amplificador B013 en cual se escala el valor del potenciómetro a un porcentaje de 0 a 100

**REFERENCIA MANUAL**

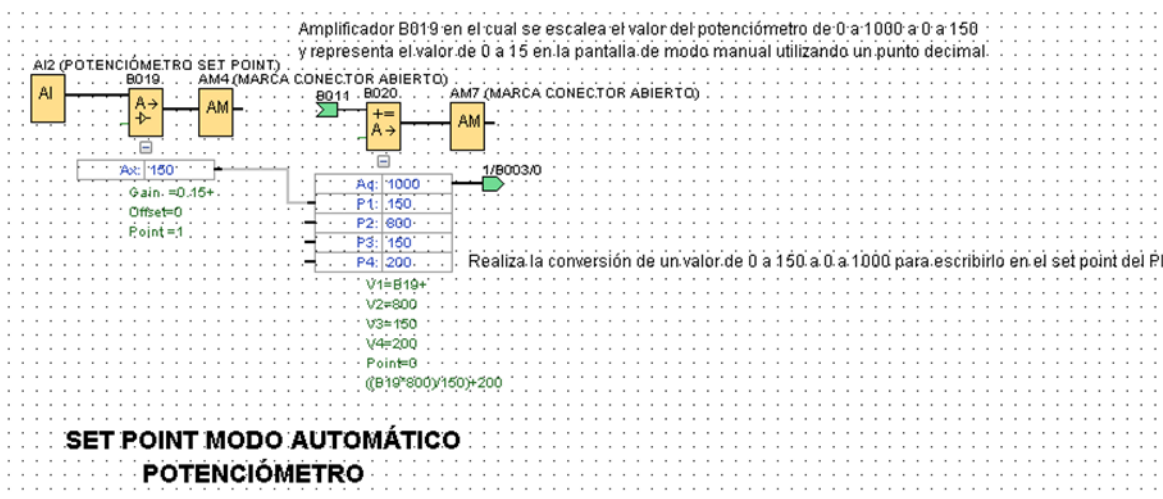
Los bloques pertenecientes a la referencia manual, realizan referenciar el sistema con la señal de un potenciómetro teniendo un sistema de lazo abierto.



Los bloques de programación pertenecientes a la referencia manual / automática controlan en qué momento se tiene modulación automática o modulación manual, dichos bloques registren al programa para que la caldera siempre realice su proceso de encendido cuando se tiene la presión de biogás seteada y además cuando el selector de seguridad está posicionado en on, el modo manual solo entrara una vez se cambie el selector a manual y ya se tenga la señal de MODULATE que se trabaja en la modulación automática.



El bloque amplificador B008 realiza el escaleo del valor de presión de maquina en valores de ingeniería de 0 a 15.



Los bloques de programación de este segmento del programa realizan la modificación del valor del set point del regulador PI de modo automático escalando valores de 0 a 150 que se obtienen del bloque amplificador B019 con un punto decimal para tener un porcentaje de error menor a la hora de configurar el SP del PI, función que es realizada por el operario controlado un potenciómetro que será representado en la pantalla de modo automático. Los valores del SP siempre son



representados de 0 a 1000 gracias al bloque de instrucción aritmética B020 que realiza el escaleo.

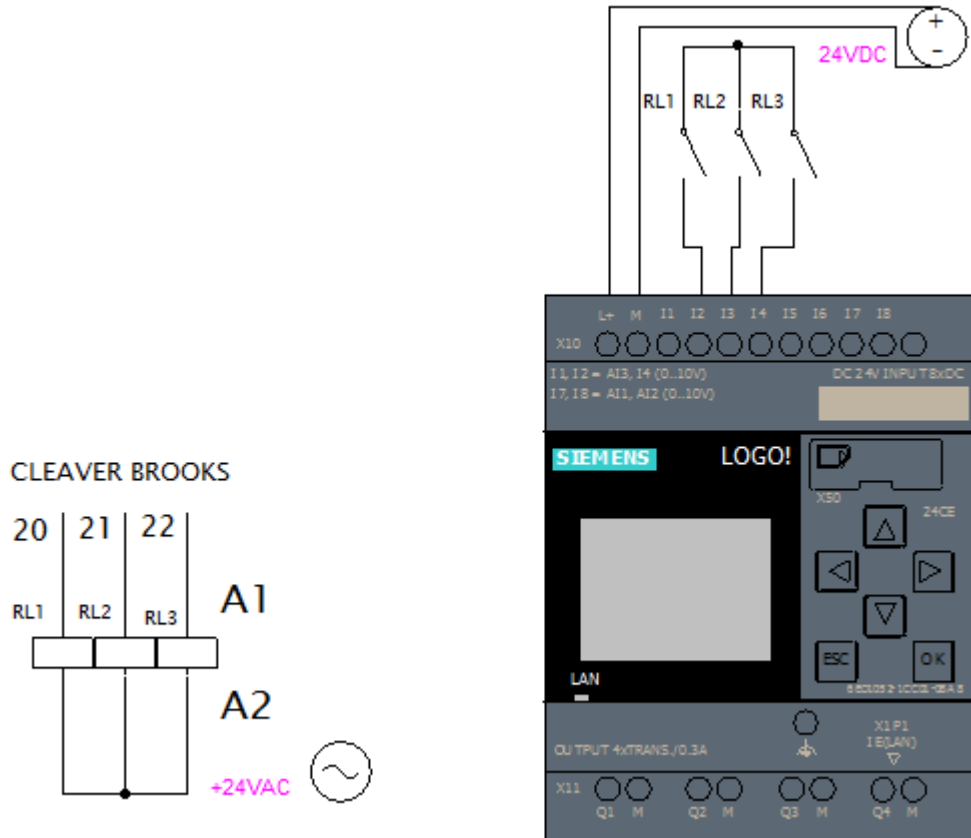


Esta parte del programa realiza la visualización de valores de bloques existentes en el programa, escogidos por el usuario.

## **E. GUÍA DE OPERACIÓN DE CALDERA 4 DE BIOGÁS**

1. El sistema de alimentación de la caldera se activará o desactivará en base a unos valores seteados en el sensor de presión de biogás. Por lo cual es importante conocer a qué valor de presión enciende y a qué de presión valor apaga.
2. Para el arranque de la caldera es necesario que el selector del modo automático / manual se encuentre en la posición de automático, caso contrario la caldera no arrancará.
3. Una vez la caldera arranque y esté en modulación automática, el valor del set point podrá ser controlado por el potenciómetro que se encuentra dentro de la caja eléctrica, dicho valor será visualizado en la pantalla en valores decimales de 0 a 15 del LOGO siempre y cuando se esté en modo automático.
4. Si se quiere operar la caldera en modo manual, se deberá arrancar en modo automático y luego hacer el cambio de posición del selector a manual, la apertura del dámper será regulada directamente por el potenciómetro de regulación manual de igual forma en la pantalla del LOGO se podrá visualizar en porcentaje de 0 a 100 la posición del dámper, esto pasará siempre y cuando este en manual.

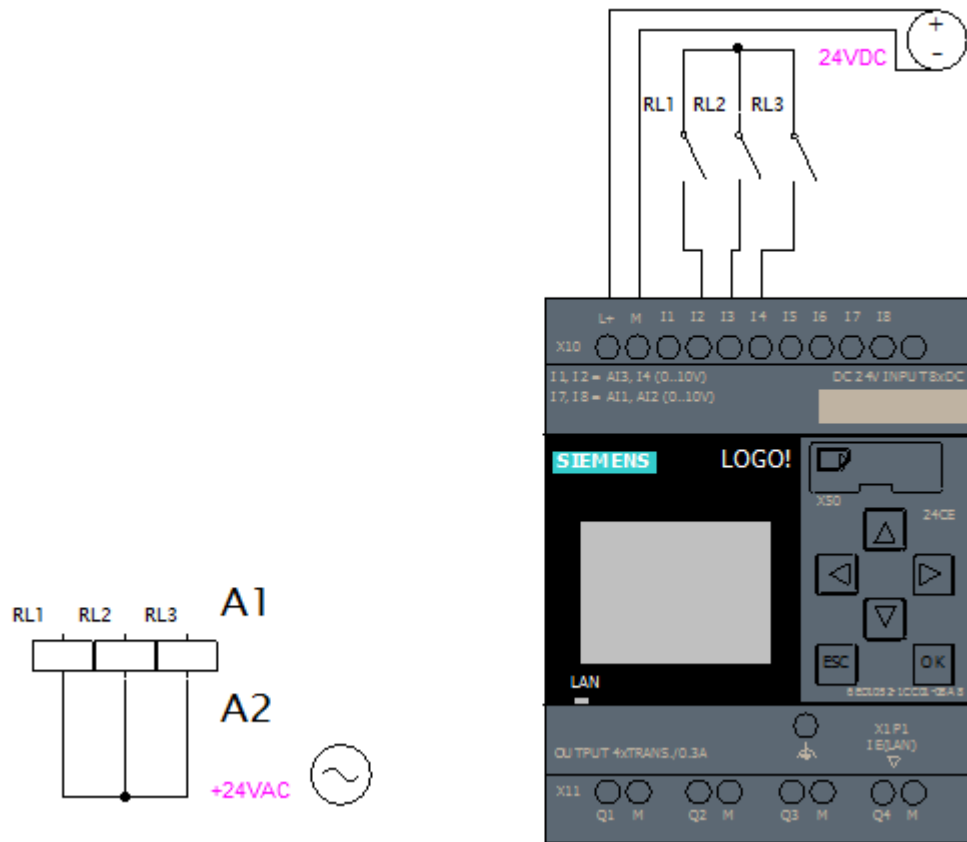
**F. GUÍA DE RECONEXIÓN PARA PASAR DE SISTEMA AUTOMATIZADO  
A SISTEMA MANUAL (SISTEMA VIEJO)**



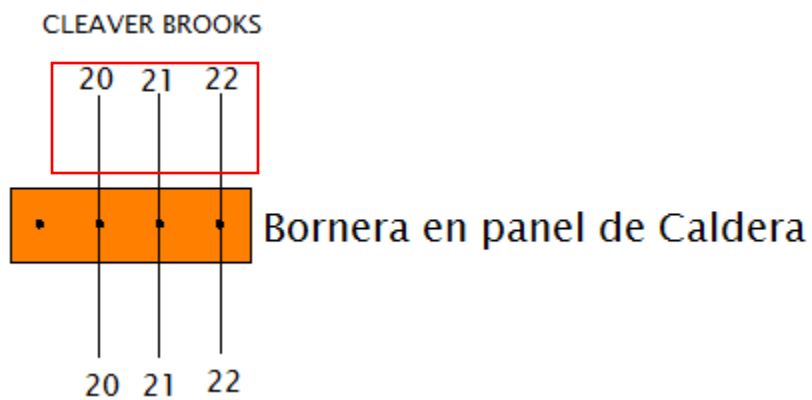
En el proyecto de automatización utilizaremos 3 entradas provenientes del controlador Cleaver Brooks las cuales son la 20, 21 y 22, estas nos darán las señales de open dámper, close dámper, y la de modulate.

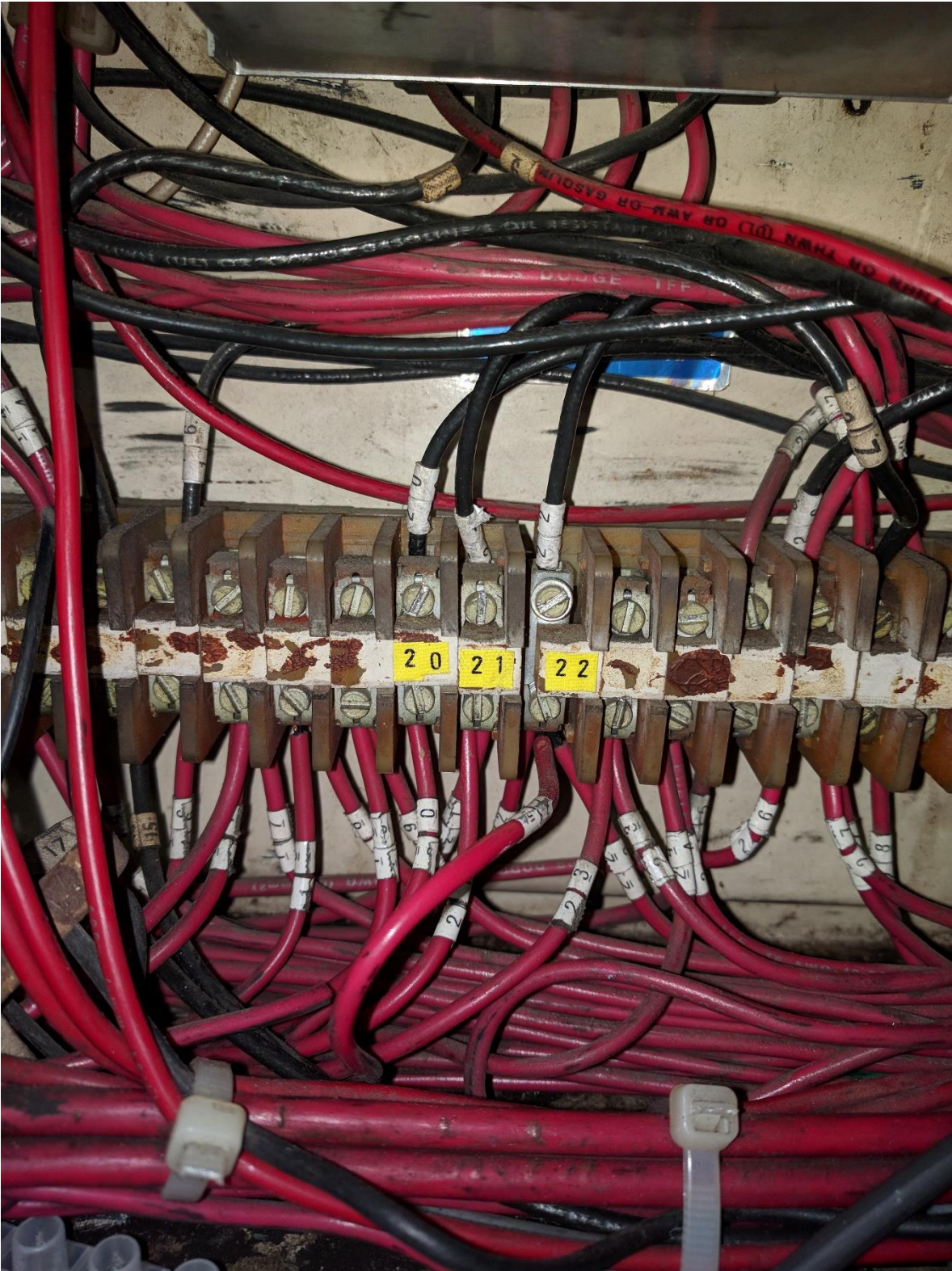
Para hacer pasar de nuevo al sistema anterior de control lo único que debemos hacer es un par de cosas.

Se deben desconectar los cables 20, 21 y 22 que van a la entrada A1 de los relés respectivamente.



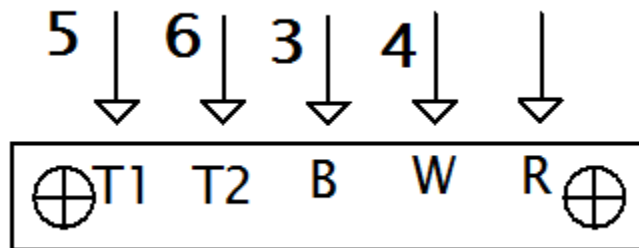
Seguidamente pasaremos a reconectar los cables 20,21 y 22 (cables negros) en la parte de arriba de la bornera que se encuentra presente en el panel de la caldera.





Así debe quedar la bornera de la caldera una vez hayan sido reconectados los cables negros 20, 21 y 22.

Luego se debe proceder a realizar la desconexión de los 4 cables que entran al control de 4 a 20 mA del Modutrol. Una vez estos cables se aíslan con cinta se debe proceder a realizar la conexión de los siguientes cables.



Se conectará el cable 4 en la terminal T1.

Se conectará el cable 6 en la terminal T2.

Se conectará el cable 3 en la terminal B.

Se conectará el cable 4 en la terminal W.

De esta forma se podrá operar la caldera tal y como estaba antes de la automatización del sistema de admisión de biogás y oxígeno.

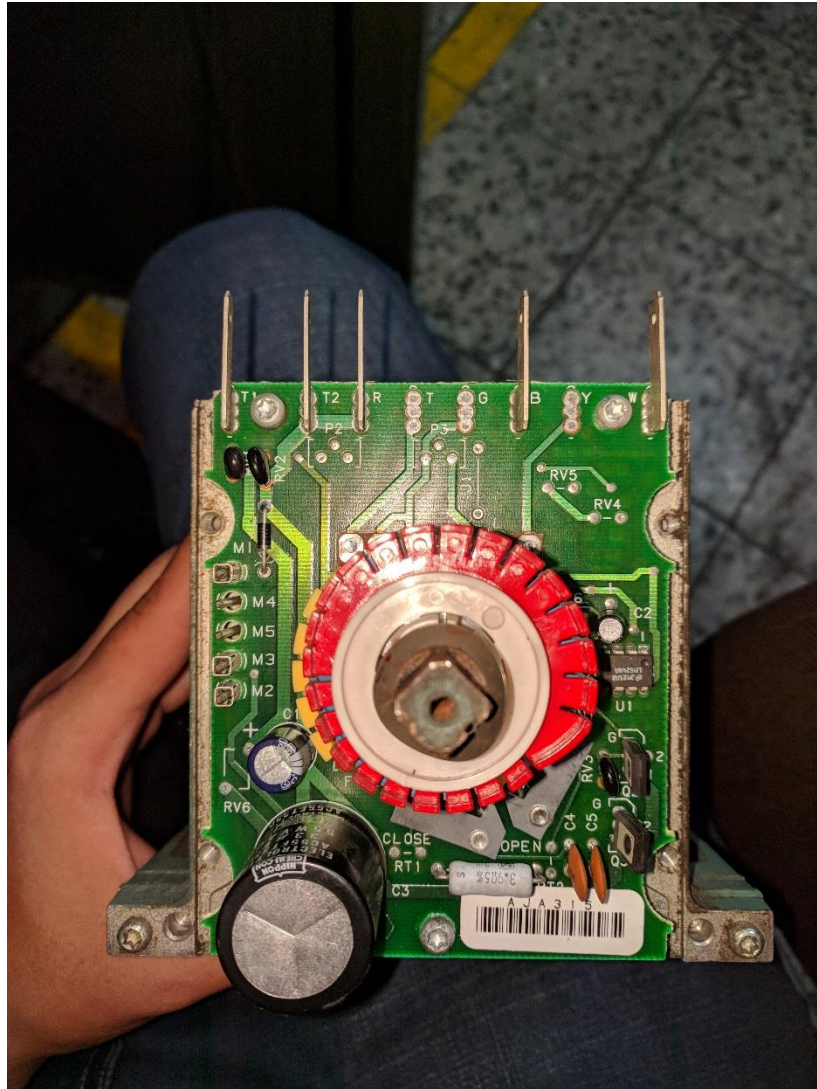


Imagen del mecanismo interno del step motor donde se visualizan las paletas de conexión.

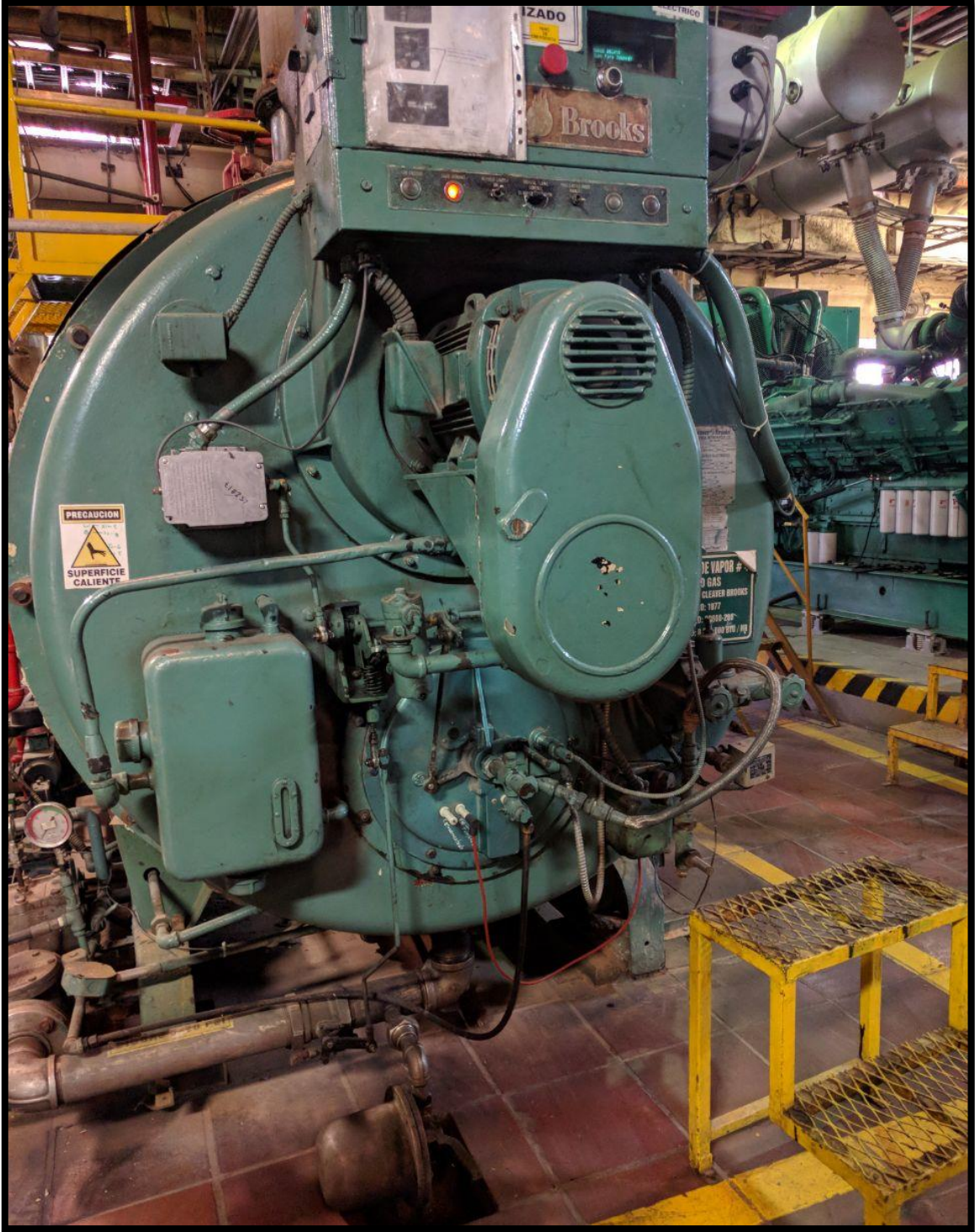
Importante no olvidar aislar con cinta todos los cables que sean desconectados del sistema de automatización por cuestiones de seguridad.

## **G. VII. AGRADECIMIENTOS**

Dando las gracias a la empresa en primer lugar por permitirme vivir esta experiencia única de aprendizaje, a lo largo de estos meses he aprendido mucho de diferentes procesos, de diferentes componentes, y muchos elementos de producción, pero sobre todo aprendí mucho sobre la vida, es por lo cual agradezco especialmente a todo mi grupo de compañeros como jefes por haberme brindado de la mejor manera un poco de su conocimiento, su amistad y su trato profesional en mis meses de práctica. Hasta pronto.

Anónimo.

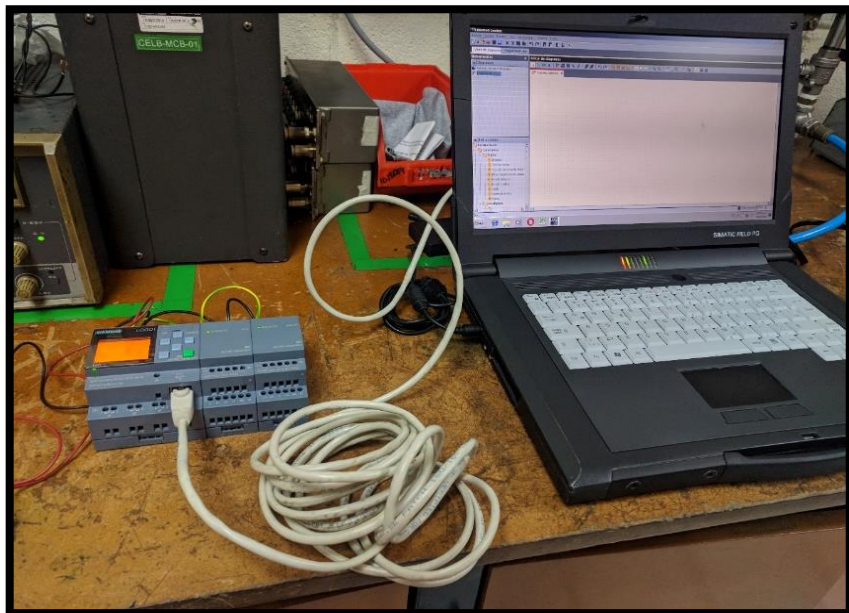




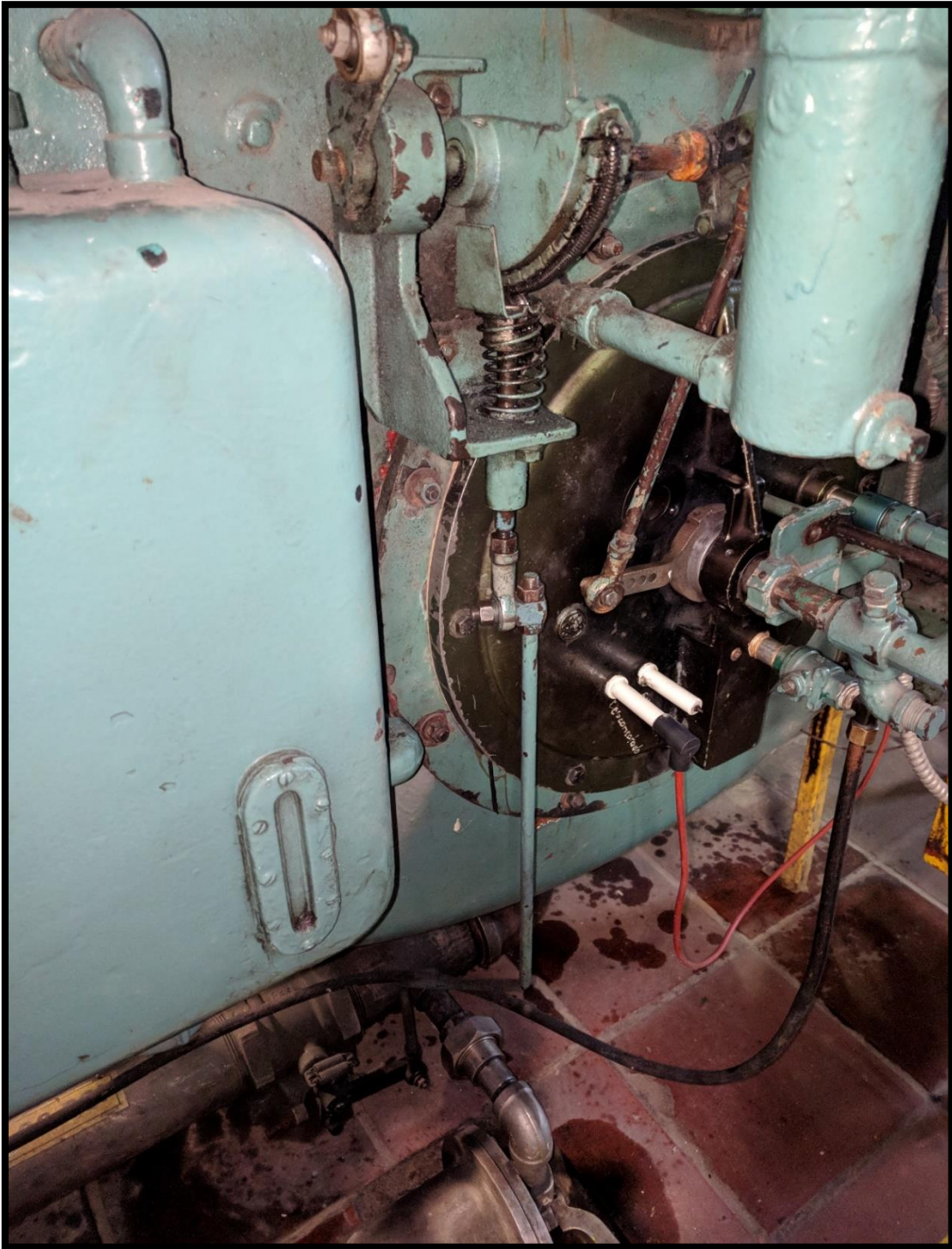
**ANEXO 1. CALDERA #4 DE BIOGÁS**



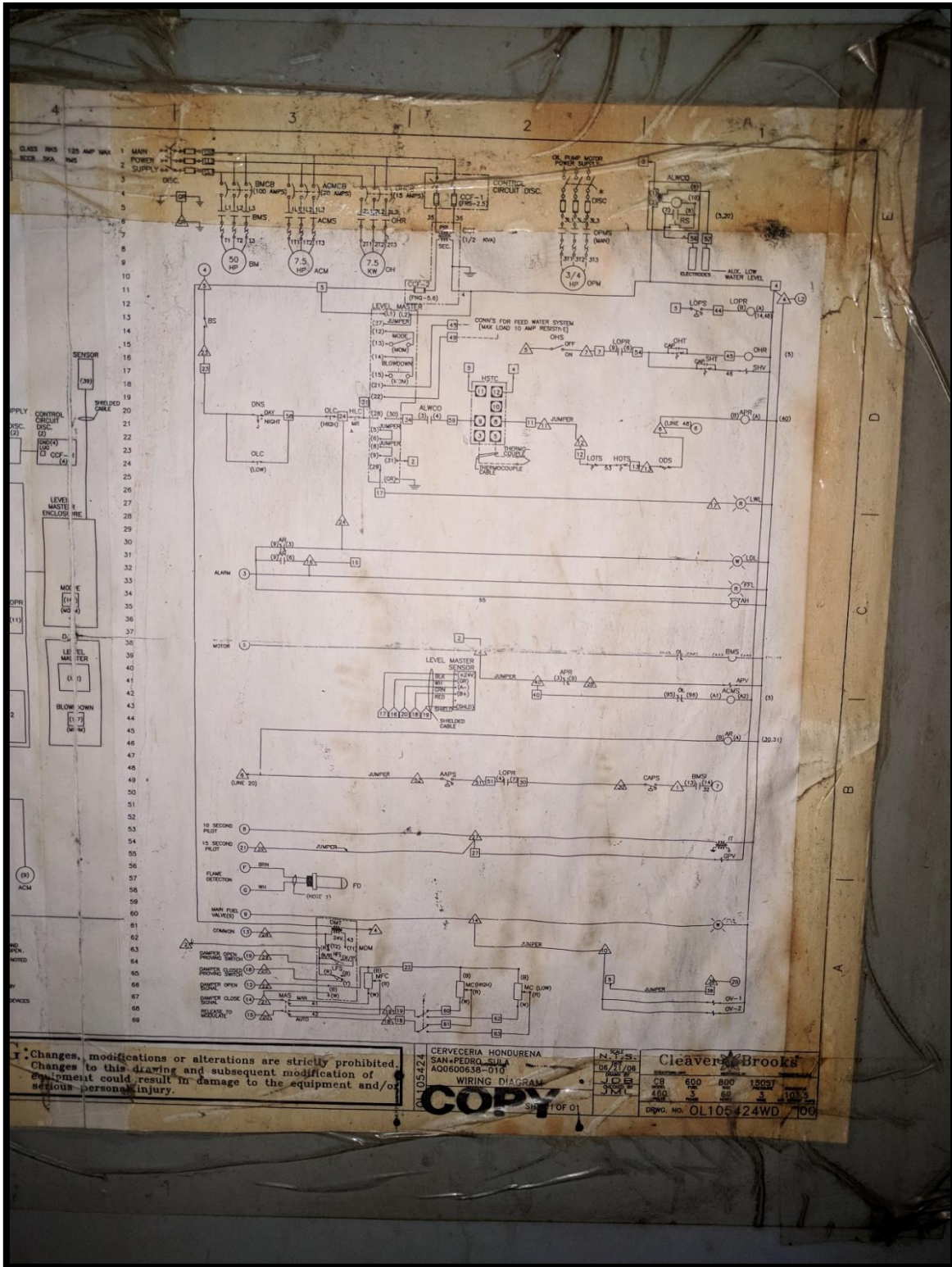
**ANEXO 2. MECANISMO MANUAL DE CONTROL CALDERA #4 DE BIOGÁS**



**ANEXO 3. PRUEBA DE LABORATORIO PARA CALDERA #4 DE BIOGÁS**



**ANEXO 4. MECANISMO REGULADOR DE LEVA – DÁMPER DE OXÍGENO Y BIOGÁS EN CALDERA  
#4 DE BIOGÁS**



ANEXO 5. CIRCUITO DE MANDO CALDERA #4 DE BIOGÁS



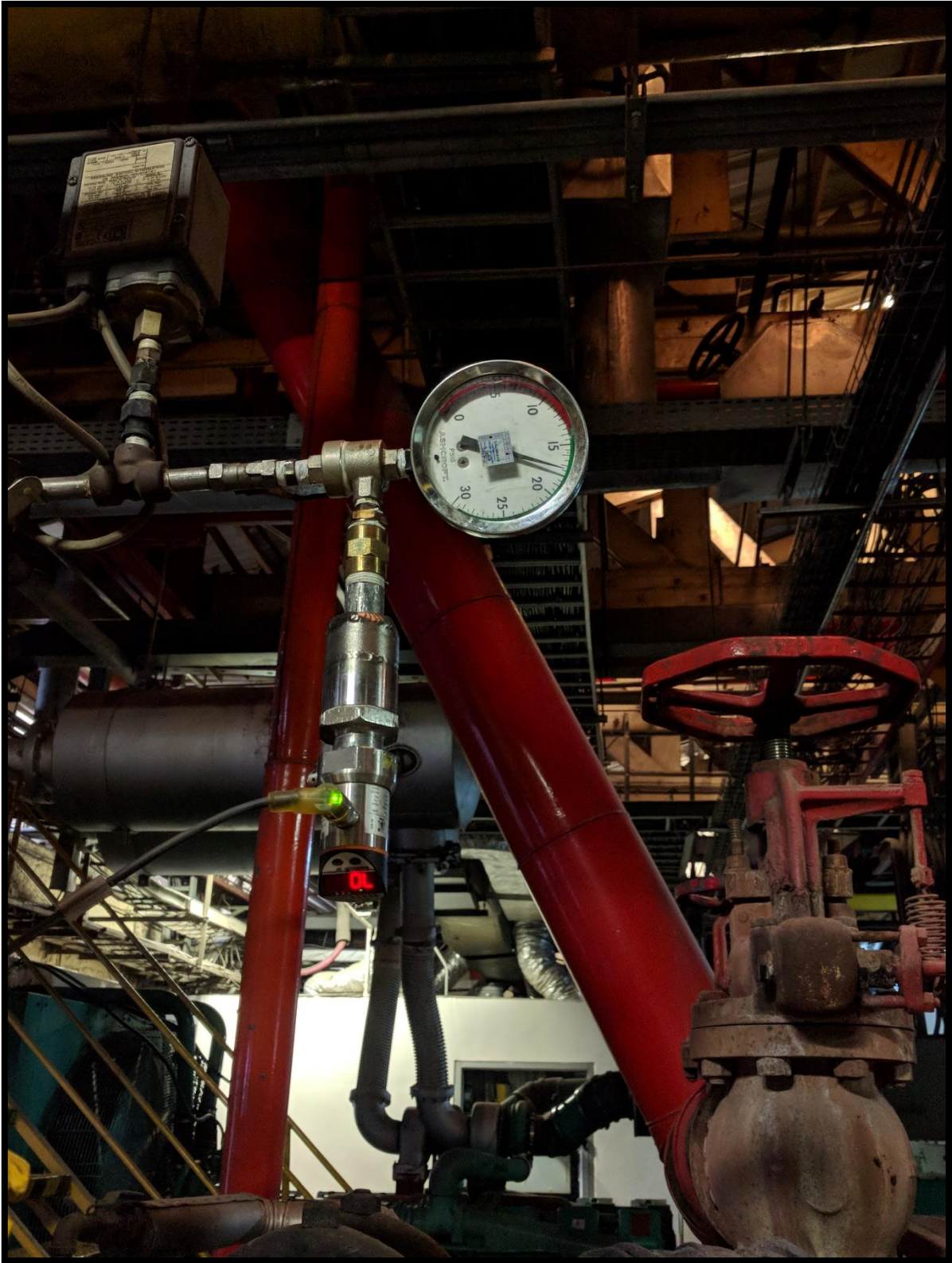
**ANEXO 6. MONTAJE DE PRUEBA SISTEMA AUTOMATIZADO EN CALDERA #4 DE BIOGÁS**



**ANEXO 7. VISOR DAÑADO Y GRIETAS ANORMALES EN CALDERA #4 DE BIOGÁS**



**ANEXO 8. REPARACIÓN POR SOBRECALENTAMIENTO EN CALDERA #4 DE BIOGÁS**



**ANEXO 9. INSTALACIÓN DE SENSOR DE PRESIÓN DE BIOGÁS EN CALDERA #4 DE BIOGÁS**



Viernes 23/3/18 Turno "B" 10am - 10pm  
 - Ronda por Areas 30m  
 - Trabajando en Caldera #4 Sistema de automatizacion de quemador biogas. Se dejo trabajando en auto, ha trabajado bien pero se disparo una vez el blower no sabemos motivo quizá requiera mantenimiento.

**ANEXO 10. SEGUIMIENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE CALDERA #4 EN BITÁCORA**

Turno "C" Marlon Maziol 23-3-18  
 - se realizo recorrido por Areas (49min)  
 - se dio apoyo a los canales en cambio de Empaques EN valvulas en sitios de Conicas  
 - se estuvo monitoreando la Caldera #4 por el control nuevo (PLC) Instalado el cual estuvo funcionando bien (1:59 Hrs)

ELÉCTRICA .

**ANEXO 11. SEGUIMIENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE CALDERA #4 EN BITÁCORA**

ELÉCTRICA .

25/Marzo/2018 Turno B Domingo 2pm - 10pm  
 - Ronda por Areas 30m  
 - Se trabajo en Ordenes Preventivas.  
 Se reviso Caldera #4 porque Operador indica que hay bajo Flujo (presión) de biogas estaba en 5 psi. motor al 100%.  
 se reviso SP = 5psi (500) Valor real 571

**ANEXO 12. SEGUIMIENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE CALDERA #4 EN BITÁCORA**

ELÉCTRICA .

- Se cambio Central de Caldera #4 (1.5 Hrs)  
Cambio de Automático a Arranque manual  
por Problemas de recalentamiento en Parte  
Trasera ING. GENRY, Grá las pruebas  
NECESARIAS y EVALUO

**ANEXO 13. SEGUIMIENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE CALDERA #4 EN BITÁCORA ELÉCTRICA .**