



# ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**“REACONDICIONAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DE  
INCINERADOR REFRACTARIO, PARA TRATAMIENTO DE  
DESECHOS PELIGROSOS”**

**AUTOR: GARCÍA RAMOS, CRISTIAN ALEXANDER**

**DIRECTOR: ING. ESCOBAR CARVAJAL, LUIS FERNANDO**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



## MECÁNICA

## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**REACONDICIONAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DE INCINERADOR REFRACTARIO, PARA TRATAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA ECOAMBIENTAL ANDINA S.A.**” fue realizada por el señor **GARCIA RAMOS, CRISTIAN ALEXANDER** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 5 de septiembre 2018

ING. LUIS FERNANDO ESCOBAR CARVAJAL

DIRECTOR



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y LA  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **GARCIA RAMOS CRISTIAN ALEXANDER**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación, **“REACONDICIONAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DE INCINERADOR REFRACTARIO, PARA TRATAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA ECOAMBIENTAL ANDINA S.A.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 5 de septiembre 2018

GARCÍA RAMOS CRISTIAN ALEXANDER

C.I. 0401304621



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y LA MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### AUTORIZACIÓN

Yo, **GARCIA RAMOS CRISTIAN ALEXANDER**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“REACONDICIONAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DE INCINERADOR REFRACTARIO, PARA TRATAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA ECOAMBIENTAL ANDINA S.A.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 5 de septiembre 2018



---

GARCÍA RAMOS CRISTIAN ALEXANDER

C.I. 0401304621



## **DEDICATORIA**

La culminación del presente trabajo significa un gran paso en mi vida a nivel profesional, es la culminación de mis estudios de pre grado que ha estado lleno de alegrías, tristezas, éxitos y fracasos los cuales me han permitido alcanzar esta meta. A lo largo de este camino nunca he estado solo por lo que quiero dedicar este logro a mis padres que han sido el pilar fundamental de mi familia, a mis hermanos que han sido un gran ejemplo a seguir, siempre guiándome y aconsejándome, a los amigos que encontré en este sendero de enseñanzas. Este triunfo es para todos ustedes

Cristian Alexander García Ramos.

## AGRADECIMIENTO

Hoy la vida me depara la gran satisfacción de culminar mi carrera profesional de ingeniería en mecatrónica, quiero agradecer infinitamente a mi padre Germán, a mi madre Miriam, mis hermanos Yahaira y Joahán que han sido mi motivación para nunca desvanecer el sueño de completar el programa de estudios de esta gran carrera.

Este acontecimiento merece que yo haga algunas reflexiones, al ingresar a esta universidad la ESPE lo hice con la convicción de que había escogido una institución de educación superior que se encuentra reconocida por su calidad y prestigio a nivel nacional e internacional, universidad que está a la vanguardia de los cambios que el conocimiento por la continua evolución de la realidad, por ello mi gratitud eterna a esta excelente institución, a sus maestros, profesionales que supieron guiarme en el hermoso camino de la investigación y de la ciencia, Ingeniero Luis escobar mil y mil gracias por su compromiso con nosotros los estudiantes para que este trabajo de investigación haya podido culminar exitosamente.

El camino recorrido fue largo, sacrificado, de muchísimo esfuerzo que me exigía una dedicación completa para indagar escudriñar la mecánica, la electrónica que me hicieron entender los procesos a través de los cuales se mueve el mundo, los seres humanos y las maquinas creación nuestra, para ayudar a la producción de bienes y servicios que van a satisfacer las más acuciantes necesidades de la humanidad entera

A mis amigos que fueron compañeros de largas noches de estudios, siempre siendo un respaldo en todos los aspectos en los que se vieron involucrados, gracias siempre por estar ahí.

Cristian Alexander García Ramos

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>x</b>
<b>INDICE DE FIGURAS. ....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO I 1. GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Justificación e Importancia.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Alcance.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Objetivos.....</b>	<b>4</b>
1.4.1.1. Objetivo general.....	4
1.4.1.2. Objetivos específicos .....	4
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>6</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Residuos peligrosos .....</b>	<b>6</b>

<b>2.2. Tratamiento de residuos.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Incineración.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4. Tipos de Incineradores.....</b>	<b>9</b>
2.4.1.1. Incinerador de aire controlado.....	9
2.4.1.2. Incinerador de horno rotatorio.....	10
<b>2.5. Clasificación de residuos.....</b>	<b>12</b>
<b>2.6. Elementos de máquinas y sistemas.....</b>	<b>13</b>
2.6.1.1. Sistema Mecánico.....	14
2.6.1.2. Sistema Hidráulico.....	14
2.6.1.3. Fluido hidráulico.....	15
2.6.1.4. Sistema Neumático.....	16
2.6.1.5. Motor Eléctrico.....	17
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>17</b>
<b>3. DISEÑO MECATRÓNICO PARA EL REACONDICIONAMIENTO.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Estado actual del incinerador.....</b>	<b>17</b>
3.1.1.1. Subsistema Hidráulico.....	19
3.1.1.2. Subsistema cámaras de combustión.....	22
3.1.1.3. Sistema de lavado de gases.....	38
3.1.1.4. Subsistema de control.....	39
<b>3.2. Diseño y dimensionamiento de los componentes mecánicos.....</b>	<b>44</b>
3.2.1.1. Dimensionamiento de bomba hidráulica.....	44
3.2.1.2. Balance de masa en la cámara primaria.....	50
3.2.1.3. Selección de soplador cámara primaria.....	55

3.2.1.4. Selección bomba para envío de combustible.....	65
<b>3.3. Programación del PLC y HMI.....</b>	<b>71</b>
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>80</b>
<b>4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>80</b>
<b>4.1. Desarrollo del protocolo de pruebas .....</b>	<b>80</b>
4.1.1.1. Sistema Hidráulico.....	80
4.1.1.2. Sistema Neumático .....	83
4.1.1.3. Tren de combustión primario.....	85
4.1.1.4. Tren de combustión Secundario.....	88
4.1.1.5. Sistema Scrubber o lavador de gases.....	90
4.1.1.6. Sistema Eléctrico y de control. ....	92
<b>4.2. Pruebas y resultados del sistema Mecatrónico general.....</b>	<b>96</b>
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>98</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>5.1. Conclusiones.....</b>	<b>98</b>
<b>5.2. Recomendaciones .....</b>	<b>99</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Procedimiento general para desinfección de residuos peligrosos.</i> .....	7
Tabla 2. <i>Comparación entre incinerador de aire controlado e incinerador de hogar rotatorio</i> .....	12
Tabla 3. <i>Tipos de basuras</i> .....	13
Tabla 4. <i>Descripción pistones hidráulicos</i> .....	19
Tabla 5. <i>Descripción válvula solenoide</i> .....	20
Tabla 6. <i>Descripción válvula de alivio</i> .....	21
Tabla 7. <i>Descripción final de carrera</i> .....	21
Tabla 8. <i>Descripción Manguera Hidráulica</i> .....	22
Tabla 9. <i>Descripción cámara primaria</i> .....	23
Tabla 10. <i>Descripción quemador</i> .....	24
Tabla 11. <i>Descripción de quemador doble</i> .....	25
Tabla 12. <i>Descripción Modutrol IV cámara primaria</i> .....	25
Tabla 13. <i>Descripción de regulador de presión de combustible cámara primaria.</i> .....	26
Tabla 14. <i>Descripción electroválvulas tren de combustión primario</i> .....	27
Tabla 15. <i>Descripción final de carrera puerta posterior cámara primaria.</i> .....	28
Tabla 16. <i>Descripción sensor de temperatura</i> .....	29
Tabla 17. <i>Descripción Controlador de aire</i> .....	29
Tabla 18. <i>Descripción Dámper</i> .....	30
Tabla 19. <i>Descripción Pressuretrol cámara primaria.</i> .....	31
Tabla 20. <i>Regulador de mezcla aire- combustible</i> .....	32
Tabla 21. <i>Descripción Controlador de presión de aire cámara secundaria</i> .....	32
Tabla 22. <i>Descripción motor principal cámara secundaria</i> .....	33
Tabla 23. <i>Descripción motor cámara secundaria</i> .....	34
Tabla 24. <i>Descripción Switch de presión de aire</i> .....	35
Tabla 25. <i>Descripción sensor de temperatura</i> .....	36
Tabla 26. <i>Descripción de regulador de presión de combustible cámara secundaria.</i> .....	37
Tabla 27. <i>Descripción electroválvulas tren de combustión secundario</i> .....	37
Tabla 28. <i>Descripción bomba de agua del lavador de gases.</i> .....	38

Tabla 29. <i>Descripción bomba de químico.</i> .....	39
Tabla 30. <i>Descripción breaker de protección.</i> .....	39
Tabla 31. <i>Descripción disyuntor termo magnético.</i> .....	40
Tabla 32. <i>Descripción relay de protección.</i> .....	41
Tabla 33. <i>Descripción indicador de combustión tren primario</i> .....	41
Tabla 34. <i>Descripción indicador de combustión tren secundario</i> .....	42
Tabla 35. <i>Descripción controlador tren primario de combustión</i> .....	43
Tabla 36. <i>Descripción controlador tren de combustión secundario</i> .....	44
Tabla 37. <i>Datos pistón de la tapa del receptor</i> .....	45
Tabla 38. <i>Velocidad de salida en pistones.</i> .....	45
Tabla 39. <i>Caudal necesario en pistones</i> .....	46
Tabla 40. <i>Carga necesaria en cada pistón</i> .....	46
Tabla 41. <i>Fuerza requerida por cada pistón</i> .....	47
Tabla 42. <i>Presión requerida por cada pistón hidráulico</i> .....	48
Tabla 43. <i>Cuadro resumen de cálculo de masa para la cámara primaria</i> .....	54
Tabla 44. <i>Datos técnicos quemadores North American</i> .....	66
Tabla 45. <i>Variables para el PLC.</i> .....	71
Tabla 46. <i>Descripción de objetivos HMI Principal</i> .....	77
Tabla 47. <i>Descripción de objetivos HMI Historicos.</i> .....	78
Tabla 48. <i>Protocolo de prueba sistema hidraulico</i> .....	82
Tabla 49. <i>Protocolo de prueba neumática</i> .....	84
Tabla 50. <i>Protocolo de prueba tren de combustión primario</i> .....	87
Tabla 51. <i>Protocolo de prueba tren de combustión secundario</i> .....	89
Tabla 52. <i>Protocolo de prueba Scrubber</i> .....	91
Tabla 53. <i>Protocolo de prueba sistema eléctrico y de control.</i> .....	93
Tabla 54. <i>Protocolo de prueba Sistema Mecatrónico</i> .....	96

## INDICE DE FIGURAS.

<i>Figura 1.</i> Configuración típica de un incinerador de aire controlado.....	10
<i>Figura 2.</i> Configuración de un incinerador de hogar rotatorio.....	11
<i>Figura 3.</i> Sistema Hidráulico.....	14
<i>Figura 4.</i> Fluido Hidráulico .....	16
<i>Figura 5.</i> Esquema sistema neumático .....	16
<i>Figura 6.</i> Partes de un motor eléctrico AC .....	17
<i>Figura 7.</i> Proceso de Incineración .....	18
<i>Figura 8.</i> Pistones hidráulicos de elevación .....	20
<i>Figura 9.</i> Válvula solenoide .....	20
<i>Figura 10.</i> Válvula de alivio .....	21
<i>Figura 11.</i> Final de carrera .....	22
<i>Figura 12.</i> Manguera hidráulica .....	22
<i>Figura 13.</i> Cámara de combustión primaria .....	23
<i>Figura 14.</i> Sistema de distribución de aire .....	23
<i>Figura 15.</i> Chispa de ignición cámara primaria .....	24
<i>Figura 16.</i> Quemador doble de combustible. ....	25
<i>Figura 17.</i> Modutrol IV Motor cámara primaria. ....	26
<i>Figura 18.</i> Regulador de presión cámara primaria .....	27
<i>Figura 19.</i> Electroválvulas tren de combustión primario .....	28
<i>Figura 20.</i> Sensor de cierre puerta posterior. ....	28
<i>Figura 21.</i> Sensor de temperatura.....	29
<i>Figura 22.</i> Controlador de aire .....	30
<i>Figura 23.</i> Dámper control de aire. ....	30
<i>Figura 24.</i> Pressuretrol cámara primaria. ....	31
<i>Figura 25.</i> Regulador de mezcla aire- combustible.....	32
<i>Figura 26.</i> Controlador de presión.....	33
<i>Figura 27.</i> Motor principal cámara secundaria.....	34

<i>Figura 28.</i> Motor secundario cámara secundaria .....	35
<i>Figura 29.</i> Switch de presión de aire .....	36
<i>Figura 30.</i> Sensor temperatura cámara secundaria .....	36
<i>Figura 31.</i> Modutrol IV motor cámara secundaria .....	37
<i>Figura 32.</i> Electroválvulas tren de combustión secundario .....	38
<i>Figura 33.</i> Bomba de agua tanque de licor .....	38
<i>Figura 34.</i> Bomba de inyección de químico, lavador de gases .....	39
<i>Figura 35.</i> Breaker de protección motores trifásicos .....	40
<i>Figura 36.</i> Disyuntor termo magnético. ....	40
<i>Figura 37.</i> Relay de protección. ....	41
<i>Figura 38.</i> Indicador tren primario de combustión .....	42
<i>Figura 39.</i> Indicador tren de combustión. ....	42
<i>Figura 40.</i> Controlador tren de combustión primario .....	43
<i>Figura 41.</i> Controlador tren de combustión secundario .....	44
<i>Figura 42.</i> Matrimonio bomba- motor hidráulico .....	49
<i>Figura 43.</i> Hoja técnica motor para bomba hidráulica .....	49
<i>Figura 44.</i> Volumen de control para el balance de masas de la primera cámara .....	54
<i>Figura 45.</i> Hoja técnica soplador CY-180 .....	65
<i>Figura 46.</i> HMI Principal Incinerador .....	77
<i>Figura 47.</i> HMI Historicos .....	78

## RESUMEN

En los últimos años en Ecuador se han implementado normativas ambientales para el tratamiento de todo tipo de desechos por lo cual se ha visto la necesidad del uso de maquinaria para el proceso de reducción en composición de masa volumen y toxicidad al ambiente, en cumplimiento a los acuerdos internacionales a los que se encuentra adherido el Ecuador la empresa EcoAmbiental Andina ha visto la necesidad de incorporar a su lista de servicios el tratamiento de desechos peligrosos por medio de la incineración de los mismos para lo cual la reparación y automatización del incinerador marca PennRam es de vital importancia. El presente proyecto se desarrolló mediante la metodología del modelo en V. La automatización de la máquina permite el uso de un HMI para su operación facilitando el uso. Los resultados obtenidos muestran la importancia de la automatización para reducción de tiempos en su proceso.

### Palabras clave

- **INCINERADOR**
- **AUTOMATIZACIÓN**
- **MODELO EN V**



## **ABSTRACT**

In recent years in Ecuador environmental regulations have been implemented for the treatment of all types of waste, which has seen the need to use equipment for the process of reduction in the amount of mass and toxicity to the environment, in compliance with agreements international to which Ecuador joins the company Ecoambiental and the need to incorporate into its list of services the treatment of hazardous waste by incinerating them for the repair and automation of the PennRam brand incinerator is of vital importance. The present project has been made using the methodology of the model in V. The automation of the machine allows the use of an HMI for its operation facilitating the use. The results accepted the importance of automation for the reduction of time in their process.

### **Key words**

- **INCINERATOR**
- **AUTOMATION**
- **V MODEL**

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1. Antecedentes**

En varios procesos industriales como petroleros, farmacéuticos se producen residuos que no pueden ser descargados directamente en el ambiente ya sea en el suelo o en ríos. Existen convenios internacionales como el de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

En Ecuador La Normativa Ambiental en el Acuerdo Ministerial No. 061 publicado en el Registro Oficial No 316 el 04 de mayo de 2015 determina:

Art. 79 Desechos peligrosos. - A efectos del presente se considerarán como desechos peligrosos, los siguientes:

a) Los desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, extracción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan alguna sustancia que tenga características corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamables, biológico-infecciosas y/o radioactivas, que representen un riesgo para la salud humana y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales aplicables; y,

b) Aquellos que se encuentran determinados en los listados nacionales de desechos peligrosos, a menos que no tengan ninguna de las características descritas en el numeral anterior. Estos listados serán establecidos y actualizados mediante acuerdos ministeriales. (Ministerio del ambiente, 2015, pág. 24)

El sector de la incineración ha experimentado un rápido desarrollo tecnológico durante los últimos 10-15 años. Gran parte de este cambio ha sido impulsado por legislaciones específicas

para el sector y esto ha reducido en particular las emisiones a la atmósfera de las instalaciones individuales. El avance de procesos es constante, y actualmente el sector desarrolla técnicas que limitan los costes al tiempo que mantienen o mejoran el rendimiento medioambiental.

Existen varios estudios y mejoras sobre los incineradores los cuales disminuyen el consumo de recursos como agua, aire y energía como, por ejemplo:

- Uso de vapor como agente de pulverización en los quemadores posterior a la cámara de combustión en lugar de aire
- Aplicación con recalentamiento del vapor en la turbina
- Medidas en la zona de gas crudo para reducir las emisiones de dioxinas.
- Uso de CO<sub>2</sub> en los gases de combustión para la producción de carbonato sódico.

(Instituto de estudios tecnológicos prosperos , 2016)

El principal objetivo de la Carrera en Ingeniería Mecatrónica es aportar con el desarrollo de sistemas y dispositivos que mejoren la calidad de vida de la ciudadanía. El ingeniero Mecatrónico formado en la ESPE, debe diseñar equipos y sistemas mecatrónicos utilizando herramientas computacionales y satisfaciendo requisitos de calidad, seguridad y economía tomando en cuenta códigos y normas técnicas nacionales e internacionales.

El personal de la carrera de Ingeniería Mecatrónica ha desarrollado proyectos como: Modernización de la máquina de ensayos universales AMSLER, sistema automatizado para el proceso de producción de mallas de polietileno, máquina para envase y sellado de latas, prototipo automatizado de telar plano de inserción de trama continua para tejido artesanal, entre otros.

Los proyectos mencionados brindan información importante sobre normas, procesos de construcción y diseño de máquinas que tengan un porcentaje de automatización.

La empresa patrocinadora de este proyecto de titulación es EcoAmbiental Andina Cía. LTDA, que está dedicada a ofrecer servicios de remediación, conversación y consultoría ambiental, para empresas involucradas en los sectores hidrocarburíferos, de explotación minera, y de producción industrial o agrícola, utilizando estrategias de costo efectivas que priorizan el uso de tecnologías verdes para minimizar el impacto ecológico de nuestros clientes y sus operaciones, por lo que propone desarrollar este proyecto de automatización en el área de Mecatrónica.

## **1.2. Justificación e Importancia**

Teniendo en cuenta la importancia que para el ambiente tienen los residuos sólidos y peligrosos por los potenciales impactos negativos que puede generar su inadecuado manejo, se ha diseñado maquinaria que permite su tratamiento como es el caso de los incineradores. Este tipo de maquinaria permite disminuir el impacto ambiental generado por este tipo de residuos, disminuyendo toxinas, furanos, etc.

Ecuador se encuentra suscrito en los siguientes convenios e instrumentos internacionales relacionados con sustancias químicas y desechos peligrosos:

- Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.
- Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes.
- Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional.
- Convenio de Minamata sobre Mercurio.
- Enfoque Estratégico para la Gestión de Sustancias Químicas a Nivel Internacional. (Ministerio del ambiente, 2015, pág. 17)

Debido a los acuerdos internacionales a los que el Ecuador se encuentra adherido existe la regulación por medio del ministerio del ambiente como máximo organismo en el Ecuador, con estos acuerdos hay el compromiso de la industria por mitigar el daño ambiental causado por los desechos generados.

Un manejo inadecuado de residuos es el agua formada se depositaba en grandes pozas de evaporación, algo inaceptable para el medio ambiente y para las poblaciones circundantes, según la Environmental Protection Agency (EPA), las aguas tienen que tratarse antes de verterlas de nuevo al ambiente.

Por otra parte, la mayoría de esta maquinaria para el procesamiento ambiental bordean los cientos de miles de dólares, por lo cual recuperar esta máquina sería satisfactorio para el medio ambiente ecuatoriano.

En base a todo lo mencionado, la empresa EcoAmbiental Andina Cía. LTDA, se ha visto la necesidad de adquirir este incinerador para realizar una evaluación detallada de la máquina para mejorar su tecnología, automatizar su proceso diseñando una interfaz gráfica para su mejor operación.

### **1.3. Alcance**

Un incinerador para tratamiento de desechos marca PennRam con capacidad para 80 Kg por batch, cumpliendo con las normativas ambientales dispuestas en el SUIA. La máquina debe contar con un HMI para su monitorización y operación.

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1.1. Objetivo general***

Reacondicionar y automatizar el incinerador refractario, para el tratamiento de desechos peligrosos para la empresa EcoAmbiental Andina Cía. LTDA.

#### ***1.4.1.2. Objetivos específicos***

- Realizar el análisis (ingeniería inversa) que determine el proceso principal y los subprocesos del incinerador relacionados en conjunto de la parte mecánica y electrónica del mismo.



- Determinar componentes dentro de los subprocesos para su respectiva adquisición, implementación o diseño para que sean añadidos tomando en consideración las recomendaciones del fabricante.
- Desarrollar e implementar un plan de mantenimiento para el incinerador.
- Realizar pruebas y calibración de la máquina.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO.

#### 2.1. Residuos peligrosos

Los desechos de diferentes densidades ya sean estos pastosos, sólidos, gaseosos o líquidos producto de un proceso ya sea industrial o de consumo y que contengan alguna sustancia que tenga características corrosivo, reactivo, tóxico, inflamable biológicamente infeccioso y/o radioactivas, que representen un riesgo para la salud humana y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales aplicables.

Estos residuos se encuentran expresos en los registrados nacionales de desechos peligrosos, a menos que no contengan alguna de las particularidades descritas en el enunciado anterior. (Distrito Metropolitano de Quito, 2015, pág. 1).

#### 2.2. Tratamiento de residuos

Debido al crecimiento poblacional e industrial, el manejo de los residuos se hace cada vez más importante. Frente a eso se han venido desarrollando diversos métodos para el tratamiento de desechos tales como el reciclaje, el almacenamiento controlado de rellenos sanitarios. Sin embargo, surge un problema mayor cuando se trata de residuos que son considerados peligrosos, es decir, que tengan capacidad de afectar a las personas o al medio ambiente.

Para estos residuos se han diseñado métodos especializados. En la Tabla 1. Se mostrará una lista de tratamientos que se usa el calor como fuente principal de energía para el procesamiento de residuos peligrosos.

**Tabla 1.**  
*Procedimiento general para desinfección de residuos peligrosos.*

Tipo de Residuo	Procedimiento																			
	Almacenamiento					Transporte				Reducción de volumen		Técnicas de desinfección								
	Interno		Externo			Interno		Ext				In-situ		Ex-situ						
	Bolsas rojas	Bolsas negras	Contenedores metálicos	Contenedor Plástico	Compactador	Carros de transporte	Hidráulicos	Neumático	Ductos de transporte	Camiones	Incineración	Trituración	Trituración húmeda	Esterilización	Incineración	Desinfección por microondas	Desinfección química	Incineración	Esterilización	
<b>Patológicos</b>	X					X			X		X			X	X	X	X			
<b>Infeciosos</b>	X					X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X		X
<b>Administrativos</b>		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
<b>Cajas</b>		X		X		X				X	X	X	X							
<b>Alimentos</b>		X		X		X	X			X			X							
<b>Latas</b>				X	X	X				X		X								
<b>Botellas</b>				X	X	X				X		X		X	X	X				
<b>Agujas y medicinas</b>			X		X															

Fuente: (Freeman, 1989, pág. 4.39)

Como consecuencia de la variedad de métodos, se expondrá las razones principales del por qué se elige el método de la incineración.

- 1) El uso de un incinerador para tratamiento de residuos peligrosos ofrece dos ventajas principales las cuales son: reducción de volumen y peso (reducción de un 90% y 75% respectivamente) e inocuidad de productos de la incineración, es decir, productos resultantes 100% estériles.
- 2) Si se sigue una adecuada de limpieza de los gases residuales, la contaminación al medio ambiente se minimiza, obteniendo un sistema que es amigable con el medio ambiente y no tan costoso como otras tecnologías.

- 3) Por otro lado, el centro que albergue el incinerador obtendrá otro beneficio y es la capacidad de reutilizar la energía que tienen los gases que salen a alta temperatura de la segunda cámara. Esto se lograría mediante un intercambiador de calor, elevando la temperatura del agua fría ingresante. El agua caliente puede ser dirigida a una caldera o a los baños.

Dadas estas 3 razones, escogeremos el método de la incineración como el adecuado para el desarrollo de este trabajo.

### **2.3. Incineración**

Es un método de tratamiento para residuos que permite reducir su composición (volumen, masa) mediante la oxidación a elevada temperatura a que son sometidos. Debe considerarse que la incineración puede formar parte de las tecnologías para la gestión integral de residuos (Salvador, 2016, pág. 1).

La incineración como otros procesos de tratamientos de residuos a alta temperatura son descritos como tratamientos térmicos.

Los productos de la combustión son generalmente gases, cenizas, partículas tóxicas y algunas con efectos cancerígenos, existe también un porcentaje de calor el cual puede ser usado para generar energía eléctrica. Por sus efectos perjudiciales a la salud, su elevado precio económico y su insostenibilidad es un método de eliminación de residuos fuertemente censurado (Arteche, 2014, pág. 8)

A continuación, se presentarán los procesos térmicos viables.

## **2.4. Tipos de Incineradores.**

### ***2.4.1.1. Incinerador de aire controlado.***

Se trata de un dispositivo el cual suele contar con dos cámaras. La primera cámara es conocida como cámara de ignición y la segunda cámara es conocida como cámara de combustión.

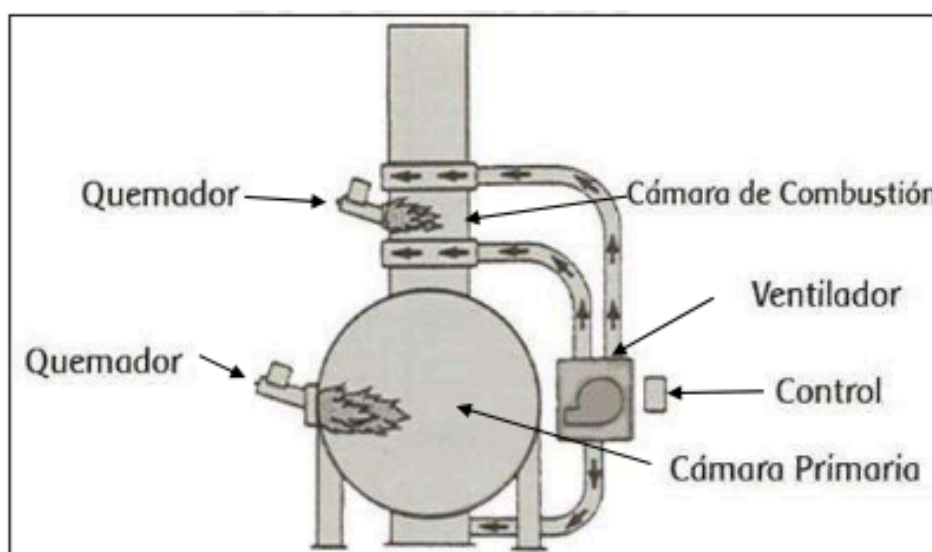
En la primera cámara se ingresa el residuo consiguiendo elevar su temperatura debida a la exposición a uno o más quemadores. Sin embargo, este residuo necesita oxígeno extra para arder adecuadamente y es en esa situación donde se inyecta aire suplementario. Este elemento es el que se regula, entregándose entre 60% y 80% del aire estequiométrico que necesita el residuo para combustionar adecuadamente. La temperatura en esta cámara oscila entre 540 y 980 grados centígrados.

Tres procesos principales ocurren en la cámara primaria: el primer proceso es la evaporación de la humedad contenida en los residuos; segundo, la fracción volátil del residuo; y tercero, el carbono fijo resultante de la descomposición de los residuos es quemado.

Posteriormente, los gases de combustión generados, los cuales están compuestos por la materia volátil y el agua en forma de vapor, viajan hacia la segunda cámara en donde se desarrolla un ambiente de gran turbulencia y ambiente con exceso de oxígeno (140% y 200%) en donde son quemados completamente. La temperatura en esta cámara oscila entre 980 y 1200 grados centígrados.

Luego, los gases generados son dirigidos hacia un intercambiador de calor donde se aprovecha su alta temperatura. La energía recuperada suele ser usada en calderas o en turbinas especializadas para vapor saturado.

Finalmente, antes de ser enviados a la atmósfera por medio de una chimenea, los gases pasan a través de un dispositivo de control de polución en donde se remueve el exceso de material particulado en los gases y se neutraliza cualquier elemento considerado tóxico para el medio ambiente. Este sistema no puede colocarse antes del equipo de recuperación de energía porque las altas temperaturas a las que salen los gases del incinerador tiende afectar negativamente al dispositivo.



**Figura 1.** Configuración típica de un incinerador de aire controlado

Fuente: (Brunner, 1998, pág. 12.2)

#### **2.4.1.2. Incinerador de horno rotatorio.**

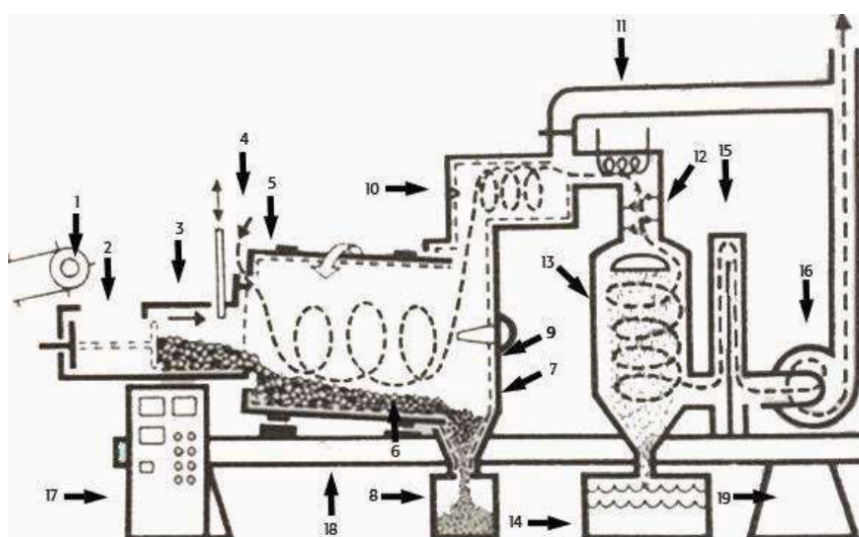
Así como el incinerador de aire controlado, este modelo también utiliza dos cámaras. La primera cámara es de forma cilíndrica y es rotativa. Está posicionada de manera inclinada verticalmente mientras que la segunda cámara también es de forma cilíndrica pero su posicionamiento es horizontal.

Al inicio del proceso el residuo es ingresado en la cámara primaria desde el extremo más largo. Una vez adentro el residuo va avanzando hacia abajo mientras es expuesto a los gases de combustión del quemador. Es necesario agregar que el giro del hogar da la ventaja de una buena

exposición al calor debido a la alta turbulencia, a ello se le suma el aspecto de la cantidad de aire en exceso con la que se incineran los residuos.

Luego, los vapores de combustión ascienden a la segunda cámara en donde son quemados completamente utilizando un quemador. Este proceso siempre se da con exceso de aire.

Después, se dirigen los gases residuales a través de un intercambiador de calor para luego ser lavados y finalmente expulsados tal como se hace con el otro sistema de incineración mencionado líneas posteriores.



**Figura 2.** Configuración de un incinerador de hogar rotatorio

Fuente: (Brunner, 1998, pág. 11.11)

- |                            |                              |  |
|----------------------------|------------------------------|--|
| 1. Sistema de transporte   | 8. Reciclamiento de agua     | 15. Quemador                           |
| 2. Sistema de alimentación | 9. Columna de neutralización | 16. Cámara de post-combustión          |
| 3. Entrada del incinerador | 10. Extractor                | 17. Sistema de recuperación de energía |
| 4. Aire auxiliar           | 11. Control                  | 18. Enfriador                          |
| 5. Hogar rotatorio         | 12. Soporte estructural      | 19. Sistema de lavado de gases         |
| 6. Quemado turbulento      | 13. Soporte de apoyo         |  |
| 7. Cenizas Incombustibles  | 14. Recipiente para cenizas  |  |

**Tabla 2.***Comparación entre incinerador de aire controlado e incinerador de hogar rotatorio*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>INCINERADOR DE AIRE CONTROLADO</b>	
Espacio reducido dado que su segunda cámara suele estar encima de la primera	Podría incinerar ineficientemente las cenizas
Bajas emisiones de partículas (1.06 gr/cm <sup>3</sup> ) sin usar equipo para lavado de gases	Se suele operar por periodos de batch mode. En trabajo continuo, podrá tener problemas con materiales que se funden y se pegan a las paredes del refractario
Bajo costo de inversión comparado con el incinerador de hogar rotatorio	
<b>INCINERADOR DE HOGAR ROTATORIO</b>	
Extremadamente bueno en la quema de material carbonoso remanente en las cenizas	Requiere gran espacio
Buen funcionamiento en operación continua	Las emisiones de material particulado tienden a ser mayor que las del incinerado de aire controlado; esto se debe a la alta turbulencia que existe en las cámaras la cual arrastra los materiales volátiles.
Tiempo de residencia puede ser ajustado por la velocidad de giro del hogar	
Incinerar algunos materiales haciéndolos pasar por una transición entre sólido y líquido, es decir, los derrite parcialmente	Alto costo de inversión comparado con el otro modelo de incineración
Los rangos de sus parámetros de funcionamiento son bastante amplios	Puede presentar alto ruido y vibraciones

Fuente: (Barrantes, 2015, pág. 29)

**2.5. Clasificación de residuos.**

Según la EPA (Environmental Protection Agency) los residuos se clasifican:



**Tabla 3.**  
*Tipos de basuras*

Tipo	Descripción	Contenido Humedad	Sólidos incombustibles	BTU V/r.lb.	lb./Ft <sup>3</sup>
<b>0</b>	Mezcla de basuras altamente combustible: papel, cartón, madera y combustibles de productos comerciales para limpieza de pisos. Contiene hasta 10% por peso de plástico, papel recubierto, laminado, cartón corrugado y retales de plástico y caucho	10%	5%	8.500	8-oct
<b>1</b>	Mezcla de basuras altamente combustible: papel, cartón, madera, líquidos para limpieza doméstica. Contiene hasta 20% por peso de basuras de restaurantes, pero poco a poco o nada de retales de plástico o caucho.	25%	10%	6.500	8-oct
<b>2</b>	Contiene igual mezcla de basura y desperdicios por peso, común para apartamentos y residencias.	50%	7%	4.300	15 - 20
<b>3</b>	Basura consistente en desperdicios vegetales y animales procedentes de restaurantes, hoteles, cafetería, hospitales y supermercados.	70%	5%	2.500	30 - 35
<b>4</b>	Patológico: restos de humanos y animales, sólidos orgánicos procedentes de hospitales, laboratorios y mataderos	85%	5%	1.000	45 - 55
<b>5</b>	Basura líquida, gaseosa o semilíquida como pintura, barro, vapor, etc de procedencia industrial.	Varía	Requiere estudio especial		5
<b>6</b>	Desperdicios de cauchos, plásticos, etc. Procesos de industrias	0	Varía según material		Varía

Fuente: (EPA)

Como se puede deducir, el flujo másico de residuos al no ser homogéneo, no presentará un poder calorífico constante, sin embargo, para el presente trabajo se considerarán como tal.

## 2.6. Elementos de máquinas y sistemas

### 2.6.1.1. Sistema Mecánico

Varios elementos y mecanismos constituyen este sistema, cuya aplicación específica es transformar o transmitir el movimiento desde la fuente que los genera, al transformar distintos tipos de energía.

### 2.6.1.2. Sistema Hidráulico

Según el American Intercontinental University (AIU), la hidráulica es la ciencia que comprende la transmisión, regulación de fuerzas y movimientos por medio de los líquidos. Cuando se escuche la palabra “hidráulica” hay que remarcar el concepto de transformación de la energía, ya sea de mecánica ó eléctrica en hidráulica para obtener un beneficio en términos de energía mecánica al finalizar el proceso. Es un arreglo de componentes varios como se indica en *Figura 3*.



**Figura 3.** Sistema Hidráulico

Fuente: (AIU, pág. 2)

- Actuador Hidráulico: elementos que transforman energía de presión del aceite comprimido en energía mecánica, esta energía será aplicada posteriormente para la función deseada

- Redes de distribución: En sistemas hidráulicos es necesario un circuito cerrado con retorno del fluido al tanque para lo cual se hace uso de mangueras. El material utilizado suele ser acero o plástico reforzado.
- Elementos de Mando: permiten el paso del aceite proveniente de la bomba hacia los actuadores.
- Motor – Bomba: elemento que convierte la energía eléctrica en energía hidráulica, el cual envía el líquido almacenado en el tanque a lo largo de la red de distribución para utilizar su flujo o su presión.
- Filtro de Retorno y de Aspiración: Es el componente principal del sistema de filtración de una maquina hidráulica, se utiliza para lubricación. Este tipo de elementos se utilizan para el control de la contaminación de partículas sólidas.
- Depósito de aceite o Tanque: La principal función del tanque es almacenar el fluido hidráulico. El tanque también debe eliminar el calor y separar el aire del aceite. (Google Blogspot, 2011)

### **2.6.1.3. Fluido hidráulico**

Para que un fluido pueda ser empleado como líquido del circuito de un sistema hidráulico, este debe presentar las siguientes propiedades:

- Fluido incompresible para un rango determinado de presión.
- Capacidad aceptable de lubricación en metales y gomas.
- Viscosidad con alto punto de ebullición y bajo punto de congelación (el rango de trabajo debe oscilar entre -70°C hasta +80°C).
- Presentar un punto de auto ignición superior, al menos a los 100°C.
- No ser inflamable.

- Químicamente inerte y no corrosivo.
- Buen disipador de calor, al funcionar también como refrigerante del sistema.
- Condiciones aceptables en cuanto a su almacenamiento y manipulación.



**Figura 4.** Fluido Hidráulico

Fuente: (AIU, pág. 4)

#### **2.6.1.4. Sistema Neumático.**

La neumática se dedica al estudio y aplicación del aire comprimido. En la actualidad, en la automatización de los distintos campos de fabricación, en los sistemas de emergencia se utilizan los conjuntos neumáticos para la generación de movimiento por medio de aire comprimido. A su vez se utiliza el aire comprimido como fuente de energía para herramientas manuales como martillos, motores, taladros entre otros. Son sistemas de costo muy bajo puesto que el suministro de aire esta en nuestro medio. En la *Figura 5* podemos observar la secuencia de un sistema neumático.

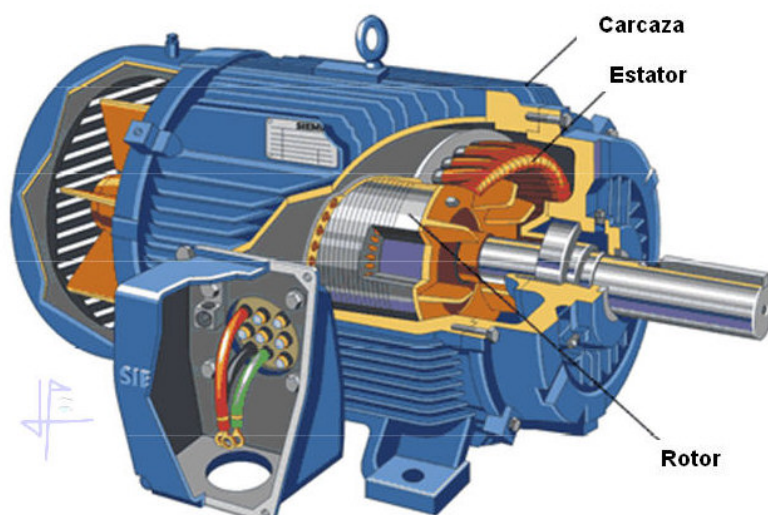


**Figura 5.** Esquema sistema neumático

### 2.6.1.5. Motor Eléctrico

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias. Transforman una energía eléctrica en energía mecánica de rotación en un eje. Tienen múltiples ventajas, entre las que cabe citar su bajo costo, fácil mantenimiento y seguridad de operación.

Su funcionamiento se basa en las fuerzas de tracción y repulsión establecidas entre un imán y una bobina (hilo) por donde hacemos circular una corriente. (Tecnología, 2014)



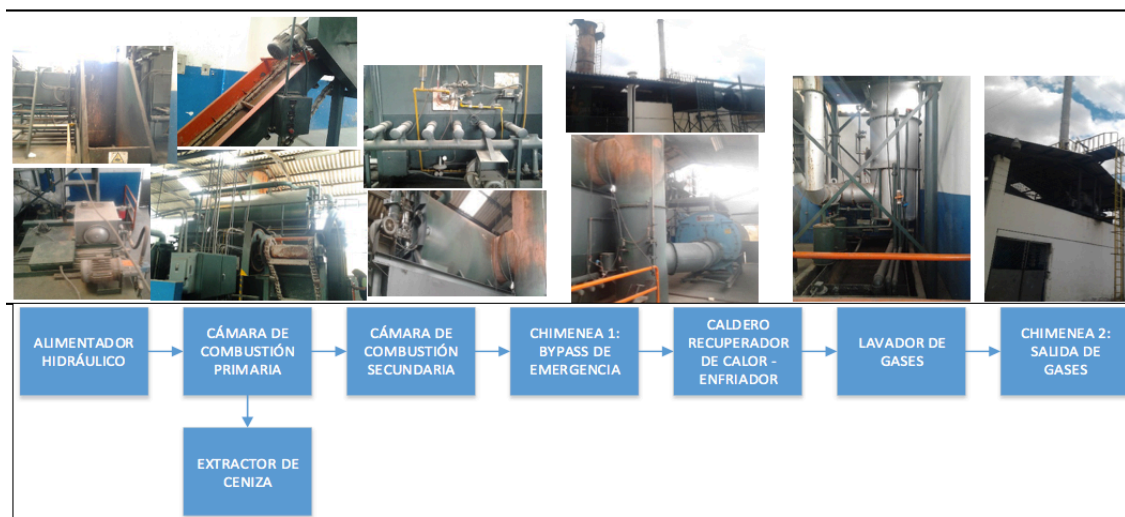
**Figura 6.** Partes de un motor eléctrico AC  
Fuente: (Sena, 2008, pág. 1)

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO MECATRÓNICO PARA EL REACONDICIONAMIENTO

#### 3.1. Estado actual del incinerador.

El incinerador marca Penn Ram dispone de 5 sub procesos como se muestra en la *Figura 7*. los cuales se pretende automatizar para que sea operado mediante un HMI (Interfaz Humano-Máquina). El proceso para la ingeniería inversa, rediseño y puesta en marcha del incinerador está especificado a continuación:



**Figura 7.** Proceso de Incineración

- Alimentación de residuos. – Se realizará mediante un sistema hidráulico. El sistema dispone de los pistones y válvulas, Carece de un sistema de control para su funcionamiento adecuado, conexiones eléctricas, matrimonio bomba-motor, aceite. También existen elementos dañados como fines de carrera, válvulas que se reemplazará por unas nuevas
- Incineración de residuos. – Cámara primaria y secundaria. Las cámaras se encuentran fuera de funcionamiento, instrumentación, soplador en la cámara primaria inexistente, caldero averiado.
- Remoción de cenizas. – Sistema mecánico motor-cadena-bandeja. No se dispone de un motor, se comprobará el estado, funcionamiento y mantenimiento de la cadena.
- Remoción de los contaminantes del aire. – Lavador de gases. Fuera de funcionamiento.

### 3.1.1.1. *Subsistema Hidráulico*

El incinerador posee una secuencia de pistones hidráulicos para el sistema de ingreso de material a las cámaras de combustión. Este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

**Tabla 4.**

*Descripción pistones hidráulicos*

FUNCIÓN	MODELO	SERIE	ESTADO	DIAMETRO	PRESIÓN DE OPERACIÓN MAXIMA	CARRERA
				in	psi	in
<b>TAPA DEL RECEPTOR</b>	2MHTRI5CRK	1614478	EN OPERACIÓN - REQUIERE MANTENIMIENTO	2	1400	15
<b>CARGADOR HIDRAULICO</b>	2MHTF46K	1614474		2	1400	46
	2MHTF46K	1614475		2	1400	46
<b>PUERTA DE FUEGO</b>	21/2MHT32K	1614472		2,5	900	32
	21/2MHT32K	1614473		2,5	900	32
<b>PISTON CENIZA INFERIOR</b>	31/4MHSL54AK	1614480		3,25	1400	54
<b>PISTON CENIZA SUPERIOR</b>	31/4MHSL48AK	1614479		3,25	1400	48
<b>COMPUERTA DE LA CAMARA</b>	31/4MHSL47AKVY	1614477		3,25	1400	47

- Pistones hidráulicos con diferentes funciones (ver *Figura 8*)



**Figura 8.** Pistones hidráulicos de elevación

- Válvulas solenoides (ver *Figura 9*)

**Tabla 5.**

*Descripción válvula solenoide*

<b>Descripción</b>	
<b>Modelo</b>	DG4V-3S-2C-M-FW-B5-60
<b>Capacidad</b>	10.5 gpm
<b>Presión Máxima</b>	5075 psi
<b>Diámetro Nominal</b>	¼
<b>Estado</b>	Fuera de operación
<b>Observación</b>	Cambio
<b>Función</b>	Activación pistón hidráulico
<b>Conexión</b>	120 VAC (60Hz)



**Figura 9.** Válvula solenoide



- Válvula de alivio (ver *Figura 10*)

**Tabla 6.***Descripción válvula de alivio*

<b>Descripción</b>	
<b>Modelo</b>	CS 03 0 50
<b>Marca</b>	Vickers
<b>Rango de presión</b>	500 - 2900 psi
<b>Estado</b>	Operativa
<b>Función</b>	Aliviar la presión del sistema

**Figura 10.** Válvula de alivio

- Final de carrera (ver *Figura 11*)

**Tabla 7.***Descripción final de carrera*

<b>Descripción</b>	
<b>Modelo</b>	802T-AP
<b>Marca</b>	Allen Bradley
<b>Cantidad</b>	15
<b>Operativos</b>	12
<b>Fuera de operación</b>	de 3
<b>Observación</b>	Cambio
<b>Función</b>	Detectar posición del pistón



**Figura 11.** Final de carrera

- Manguera Hidráulica (ver Figura 12)

**Tabla 8.**

*Descripción Manguera Hidráulica.*

Descripción	
<b>Diámetro</b>	0.5 in
<b>Presión de trabajo</b>	1200 psi
<b>Observación</b>	Cambio
<b>Función</b>	Conducir el fluido



**Figura 12.** Manguera hidráulica

Otros elementos de este sistema no existen como son: Motor- bomba, filtros y adelante en este documento se realizará los cálculos pertinentes.

### **3.1.1.2. Subsistema cámaras de combustión.**

- Cámara de combustión (ver Figura 13), dentro de ella se combustionan y reducen todos los residuos peligrosos.

**Tabla 9.***Descripción cámara primaria*

<b>Descripción</b>	
<b>Longitud</b>	4.7m
<b>Altura</b>	1.7m
<b>Observación</b>	Mantenimiento
<b>Aislante térmico</b>	ok
<b>Función</b>	Conducir el fluido

**Figura 13.** Cámara de combustión primaria

- Soplador cámara primaria (ver Figura 14), es el encargado de suministrar aire a la cámara primaria para la combustión, no se dispone de información del mismo, tubería de 6 in de diámetro.

**Figura 14.** Sistema de distribución de aire

- Tubería de inyección de aire (ver *Figura 14*), sistema de distribución de aire por toda la cámara de combustión, internamente en la cámara se encuentran mangueras en una matriz de 12x5, requiere mantenimiento.
- Chispa de ignición cámara primaria (ver *Figura 15*), enciende la chispa para el proceso de combustión.

**Tabla 10.***Descripción quemador*

Descripción	
Marca	Webster
Alimentación	120V
Frecuencia	60 Hz
Función	Encender el combustible

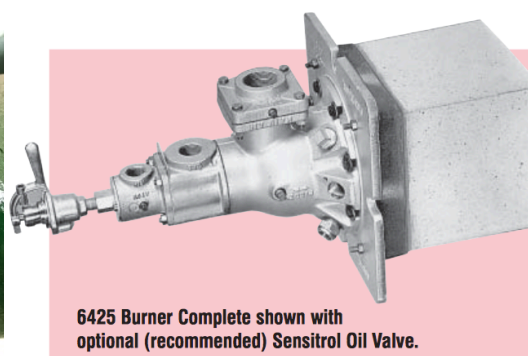
**Figura 15.** Chispa de ignición cámara primaria

- Quemador doble de combustible (ver *Figura 16*), Los quemadores 6425 están diseñados específicamente para operaciones a temperaturas más altas, como hornos de forja, hornos de cerámica, fundidores de metal y vidrio, hornos de tratamiento térmico, etc. Uno de los quemadores industriales más utilizados en el mundo.

- Luz ultra violeta (*Figura 16*), ayuda a corroborar que la llama se encuentra encendida para que la combustión se realice adecuadamente.

**Tabla 11.***Descripción de quemador doble*

Descripción	
<b>Marca</b>	North American
<b>Modelo</b>	6425-5
<b>Estado</b>	Ok
<b>Presión</b>	<b>Aire</b> 1 osi- 50
<b>Combustión</b>	
<b>Función</b>	Quemar combustible

**Figura 16.** Quemador doble de combustible.

- Modutrol IV Motor cámara primaria (ver *Figura 17*), se usa para abrir o cerrar las compuertas de entrada de aire del ventilador en el quemador y abrir o cerrar una válvula de combustible.

**Tabla 12.***Descripción Modutrol IV cámara primaria*

Descripción	
<b>Marca</b>	Honeywell
<b>Modelo</b>	1134
<b>Estado</b>	Ok
<b>Corriente</b>	15
<b>Voltaje</b>	120 V
<b>Función</b>	Detener el paso de aire





*Figura 17.* Modutrol IV Motor cámara primaria.

- Regulador de presión de combustible cámara primaria (ver *Figura 18*), regula la presión de entrada y salida para el combustible en el tren de combustión primario

**Tabla 13.**

*Descripción de regulador de presión de combustible cámara primaria.*

Descripción	
Marca	North American
Modelo	42-01-25
Estado	Ok
Máxima presión entrada	25-75 psi
Máxima presión salida	250 psi
Función	Regular presión combustible



**Figura 18.** Regulador de presión cámara primaria

- Electroválvulas tren de combustión primario (ver *Figura 19*), permiten el paso de combustible a la presión requerida, reciben la señal del Pressuretrol.

**Tabla 14.**

*Descripción electroválvulas tren de combustión primario*

Descripción	
<b>Marca</b>	North American
<b>Modelo</b>	42-01-25
<b>Estado</b>	Ok
<b>Máxima presión entrada</b>	25-75 psi
<b>Máxima presión salida</b>	250 psi
<b>Función</b>	Regular presión combustible



**Figura 19.** Electroválvulas tren de combustión primario

- Sensor de cierre puerta posterior cámara primaria (ver *Figura 20*), este sensor sirve para asegurar que la puerta está bloqueada para el accionamiento del incinerador.

**Tabla 15.**

*Descripción final de carrera puerta posterior cámara primaria.*

Descripción	
Marca	Pizzato
Modelo	IEC60947-5-1
Estado	Ok
Corriente	1A
Voltaje	400V
Función	Seguridad



**Figura 20.** Sensor de cierre puerta posterior.



- Sensor de temperatura (ver *Figura 21*), cuenta con un termo pozo para su protección.

**Tabla 16.***Descripción sensor de temperatura*

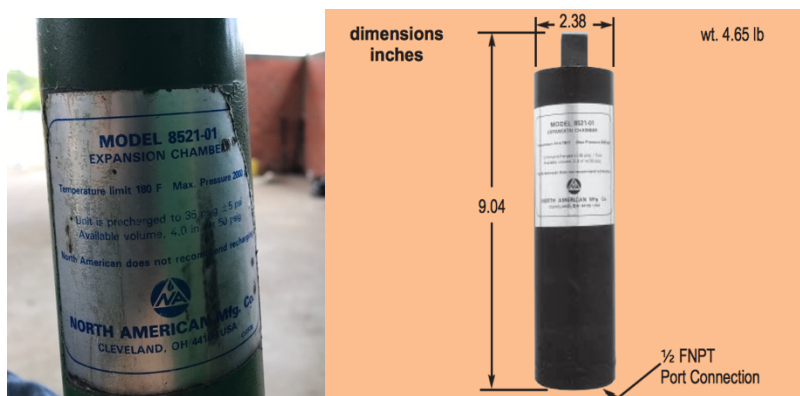
Descripción	
<b>Marca</b>	Penram
<b>Estado</b>	Ok
<b>Alimentación</b>	120V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Función</b>	Censar la temperatura

**Figura 21.** Sensor de temperatura

- Controlador de flujo de aire (ver *Figura 22*), El aceite que se calienta después de quedar atrapado en una línea se expandirá y puede acumular la presión suficiente para romper los diafragmas del regulador a menos que se prevengan para absorber la expansión. Es una buena práctica instalar los Acumuladores 8521-01 corriente abajo de aire para protegerlos en instalaciones de aceite liviano.

**Tabla 17.***Descripción Controlador de aire*

Descripción	
<b>Modelo</b>	8521-01
<b>Marca</b>	North American Mfg.
<b>Presión Máxima</b>	2000 psi
<b>Temperatura Lim.</b>	180 °F
<b>Observación</b>	Ok
<b>Función</b>	Disminuir la presión del aceite



**Figura 22.** Controlador de aire

- Dámper de control de aire (ver *Figura 23*), es un actuador de dos posiciones que permite o interrumpe el paso de aire.

**Tabla 18.**

*Descripción Dámper*

Descripción	
<b>Modelo</b>	M436A 1090
<b>Marca</b>	Honeywell
<b>Estado</b>	Requiere cambio
<b>Voltaje</b>	120 V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Potencia</b>	27 Watts
<b>Función</b>	Permitir el paso de aire



**Figura 23.** Dámper control de aire.

- Pressuretrol cámara de combustión primaria (ver *Figura 24*), permite la activación de 2 electroválvulas para cortar el paso de combustible al quemador, dispone de la configuración inicial más un diferencial que es el rango de activación.

**Tabla 19.**

*Descripción Pressuretrol cámara primaria.*

<b>Descripción</b>	
<b>Marca</b>	Honeywell
<b>Estado</b>	Operativo
<b>Voltaje</b>	120 V
<b>Presión</b>	10-50 psi
<b>Diferencial</b>	0-8 psi
<b>Función</b>	Activar electroválvulas.



**Figura 24.** Pressuretrol cámara primaria.

- Regulador de mezcla de aire-combustible (ver *Figura 25*), Los diafragmas moldeados garantizan un excelente seguimiento y repetitividad, un flujo máximo y una cobertura superior. Se usa un resorte de acero inoxidable de alta calidad para polarizar la relación aire / gas del Regulador.

**Tabla 20.***Regulador de mezcla aire- combustible.*

<b>Descripción</b>	
<b>Marca</b>	North American
<b>Estado</b>	Cambio
<b>Presión</b>	10-50 psi
<b>Función</b>	Mezclar aire-combustible

**Figura 25.** Regulador de mezcla aire- combustible.

- Controlador de presión de aire cámara secundaria (ver *Figura 26*), El aceite que se calienta después de quedar atrapado en una línea se expandirá y puede acumular la presión suficiente para romper los diafragmas del regulador a menos que se prevengan para absorber la expansión.

**Tabla 21.***Descripción Controlador de presión de aire cámara secundaria*

<b>Descripción</b>	
<b>Modelo</b>	8521-01
<b>Marca</b>	North American Mfg.
<b>Presión Máxima</b>	2000 psi
<b>Temperatura Lim.</b>	180 °F
<b>Observación</b>	Ok
<b>Función</b>	Disminuir la presión del aceite



**Figura 26.** Controlador de presión

- Motor principal cámara secundaria (ver *Figura 27*), este motor inyecta aire tanto a la cámara secundaria como a la primaria para permitir la combustión y generar turbulencia en la cámara secundaria para su correcta operación.

**Tabla 22.**

*Descripción motor principal cámara secundaria*

Descripción	
<b>Modelo</b>	07H287W506G1
<b>Voltaje</b>	200-230 V
<b>Corriente</b>	10 A
<b>Observación</b>	Ok
<b>Función</b>	Inyectar aire a la cámara secundaria



*Figura 27.* Motor principal cámara secundaria.

- Motor secundario cámara secundaria (ver *Figura 28*), permite generar turbulencia dentro de la cámara secundaria para su correcta combustión de los gases.

**Tabla 23.**

*Descripción motor cámara secundaria*

<b>Descripción</b>	
<b>Modelo</b>	07H287W506G1
<b>Marca</b>	Marathon
<b>Voltaje</b>	220 V
<b>Corriente</b>	18.5 A
<b>Observación</b>	Ok
<b>Función</b>	Inyectar aire a la cámara secundaria





**Figura 28.** Motor secundario cámara secundaria.

- Switch de presión de aire (ver *Figura 29*), permite controlar el flujo de aire necesario para operación.

**Tabla 24.**

*Descripción Switch de presión de aire*

<b>Descripción</b>	
<b>Modelo</b>	8521-01
<b>Marca</b>	North American Mfg.
<b>Rango de presión</b>	0- 700 KPa
<b>Observación</b>	Ok
<b>Función</b>	Regular y cortar el flujo de aire



**Figura 29.** Switch de presión de aire

- Sensor de temperatura (ver *Figura 30*), cuenta con un termo pozo para su protección.

**Tabla 25.**

*Descripción sensor de temperatura*

Descripción	
Marca	Penram
Estado	Ok
Alimentación	120V
Frecuencia	60 Hz
Función	Censar la temperatura



**Figura 30.** Sensor temperatura cámara secundaria



- Regulador de presión de combustible cámara secundaria (ver *Figura 31*), regula la presión de entrada y salida para el combustible en el tren de combustión secundario

**Tabla 26.**

*Descripción de regulador de presión de combustible cámara secundaria.*

Descripción	
Marca	North American
Modelo	42-01-25
Estado	Ok
Máxima presión entrada	25-75 psi
Máxima presión salida	250 psi
Función	Regular presión combustible



**Figura 31.** Modutrol IV motor cámara secundaria

- Electroválvulas tren de combustión secundario (ver *Figura 32*), permiten el paso de combustible a la presión requerida, reciben la señal del Pressuretrol.

**Tabla 27.**

*Descripción electroválvulas tren de combustión secundario*

Descripción	
Marca	North American
Modelo	42-01-25
Estado	Ok
Máxima presión entrada	25-75 psi
Máxima presión salida	250 psi
Función	Regular presión combustible



**Figura 32.** Electroválvulas tren de combustión secundario

### 3.1.1.3. Sistema de lavado de gases

- Bomba de succión de agua (ver *Figura 33*), es la bomba que succiona agua del tanque de licor donde se deposita toda el agua para realizar el lavado de los gases.



**Figura 33.** Bomba de agua tanque de licor.

**Tabla 28.**

*Descripción bomba de agua del lavador de gases.*

Descripción	
<b>Modelo</b>	CMA/I 306T
<b>Marca</b>	Ebara
<b>Estado</b>	Operativa
<b>Voltaje</b>	V3 220 V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Potencia</b>	3 HP
<b>Corriente</b>	7.5 A
<b>Función</b>	Succión de agua

- Bomba de químico (ver Figura 34), es la bomba que succiona agua del tanque de licor donde se deposita toda el agua para realizar el lavado de los gases.

**Tabla 29.***Descripción bomba de químico.*

Descripción	
<b>Modelo</b>	CMA/I 206T
<b>Marca</b>	Ebara
<b>Estado</b>	Operativa
<b>Voltaje</b>	V 3 220 V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Potencia</b>	2 HP
<b>Corriente</b>	7.5 A
<b>Función</b>	Succión de agua

**Figura 34.** Bomba de inyección de químico, lavador de gases

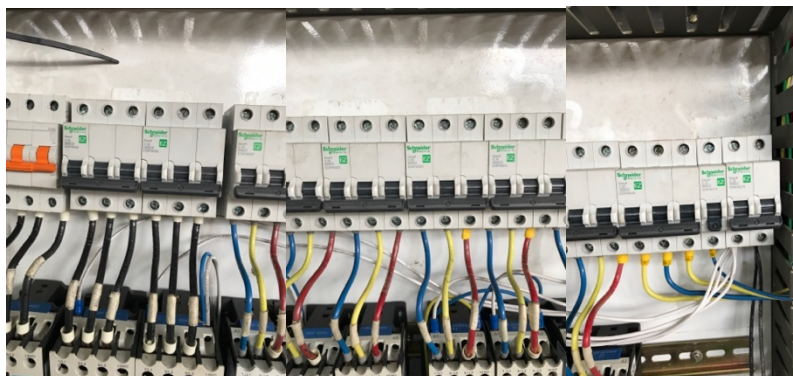
#### 3.1.1.4. Subsistema de control

- Breaker de protección de motores trifásicos (ver Figura 35), proteger de sobre corriente todos los motores.

**Tabla 30.***Descripción breaker de protección*

Descripción	
<b>Modelo</b>	C10, C20
<b>Marca</b>	Schneider Electric
<b>Estado</b>	Operativo
<b>Frecuencia</b>	60 Hz

<b>Corriente</b>	10 A, 20 A
<b>Función</b>	Protección



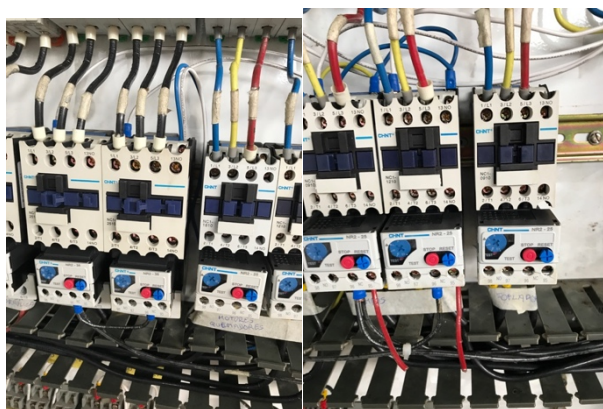
*Figura 35.* Breaker de protección motores trifásicos.

- Disyuntor termo magnético (ver *Figura 36*), sistema de protección para los motores trifásicos.

**Tabla 31.**

*Descripción disyuntor termo magnético.*

<b>Descripción</b>	
<b>Modelo</b>	C10, C20
<b>Marca</b>	Chint
<b>Estado</b>	Operativo
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Corriente</b>	10 A, 20 A
<b>Función</b>	Protección



*Figura 36.* Disyuntor termo magnético.



- Relay de protección (ver *Figura 37*), enclavar y proteger el conjunto de electroválvulas del sistema de alimentación hidráulico.

**Tabla 32.***Descripción relay de protección.*

<b>Descripción</b>	
<b>Modelo</b>	RH4B-UL
<b>Marca</b>	Idec
<b>Estado</b>	Operativo
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Corriente</b>	2 A
<b>Función</b>	Protección

**Figura 37.** Relay de protección.

- Indicador combustión tren primario (ver *Figura 38*), este dispositivo de control permite regular todas las variables dentro del proceso de combustión del tren primario.

**Tabla 33.***Descripción indicador de combustión tren primario*

<b>Descripción</b>	
<b>Modelo</b>	9L95
<b>Marca</b>	Ogden
<b>Estado</b>	Operativo
<b>Voltaje</b>	80-260VAC
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Corriente</b>	4-20 mA
<b>Función</b>	Mostrar la temperatura



**Figura 38.** Indicador tren primario de combustión.

- Indicador combustión tren primario (ver *Figura 39*), este dispositivo de control permite regular todas las variables dentro del proceso de combustión del tren primario.

**Tabla 34.**

*Descripción indicador de combustión tren secundario*

Descripción	
<b>Modelo</b>	9L95
<b>Marca</b>	Ogden
<b>Estado</b>	Operativo
<b>Voltaje</b>	80-260VAC
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Corriente</b>	4-20 mA
<b>Función</b>	Mostrar la temperatura



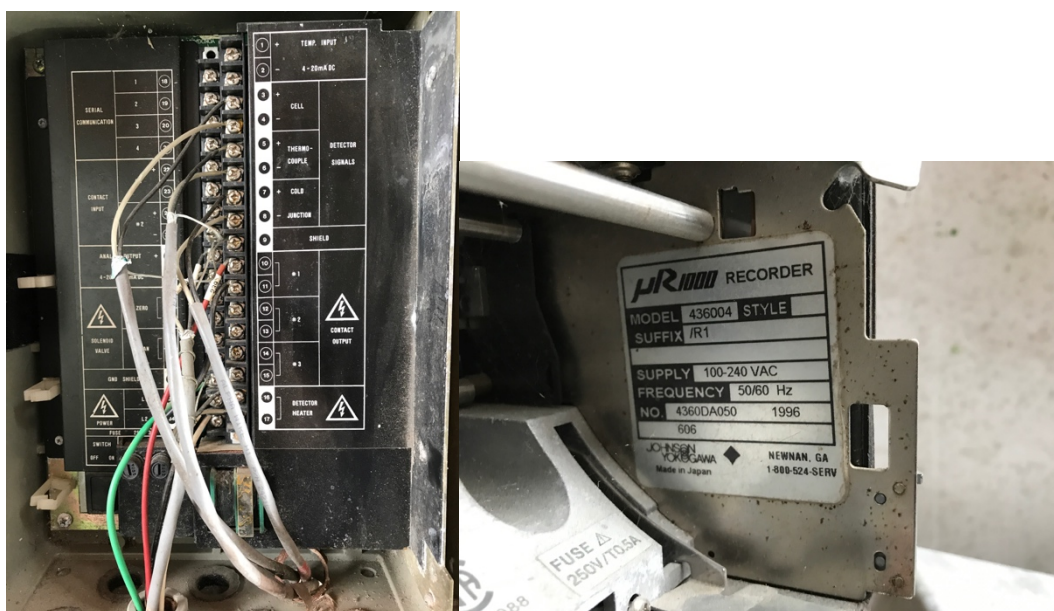
**Figura 39.** Indicador tren de combustión.

- Controlador tren primario de combustión (ver *Figura 40*), se encarga del control completo del tren primario, tanto como ignición como combustión completa llegando a los valores deseados.

**Tabla 35.**

*Descripción controlador tren primario de combustión*

Descripción	
<b>Modelo</b>	436004
<b>Marca</b>	uR1000
<b>Estado</b>	Operativo
<b>Voltaje</b>	100-240 VAC
<b>Frecuencia</b>	50/60 Hz
<b>Corriente</b>	4-20 mA
<b>Función</b>	Controlar variables

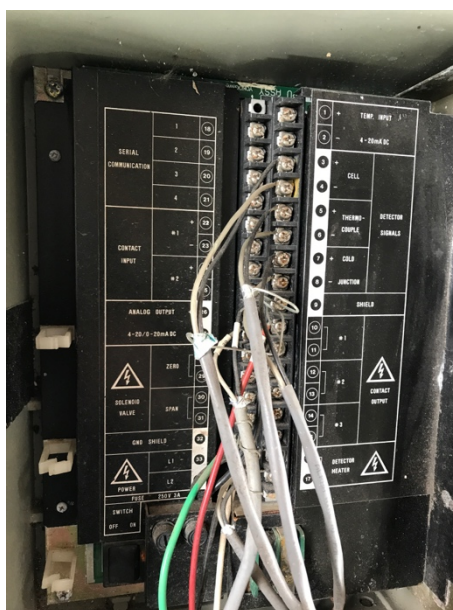


*Figura 40.* Controlador tren de combustión primario.

- Controlador tren secundario de combustión (ver *Figura 41*), se encarga del control completo del tren secundario, tanto como ignición como combustión completa llegando a los valores deseados.

**Tabla 36.***Descripción controlador tren de combustión secundario.*

Descripción	
<b>Modelo</b>	436004
<b>Marca</b>	uR1000
<b>Estado</b>	Operativo
<b>Voltaje</b>	100-240 VAC
<b>Frecuencia</b>	50/60 Hz
<b>Corriente</b>	4-20 mA
<b>Función</b>	Controlar variables

**Figura 41.** Controlador tren de combustión secundario

### 3.2. Diseño y dimensionamiento de los componentes mecánicos.

Como dato de diseño tenemos que la masa de residuos a incinerar es de 2400Kg, cada batch de 80Kg. Se procesará basuras del tipo 2 según la tabla 3

#### 3.2.1.1. Dimensionamiento de bomba hidráulica.

Se realizará un proceso inverso en el sistema hidráulico de alimentación, al investigar en el manual del fabricante de los pistones se sustrajo la información relevante de cada pistón (ver



Tabla 4) para así empezar a obtener una idea más clara del tipo de bomba que se necesita para mover el sistema.

Para ejemplo de cálculo se utilizarán los datos de la tapa del receptor (ver Tabla 37).

**Tabla 37.** *Datos pistón de la tapa del receptor*

Función	Modelo	Cantidad	Serie	Bore	Presión Operacional	Carrera
				in	psi	in
<b>TAPA DEL RECEPTOR</b>	2MHTRI5CRK	1	1614478	2	1400	15

Para obtener el caudal necesario de cada pistón, se requiere la velocidad

$$v = \frac{l}{t} \quad (1)$$

Donde:

$v$ : Velocidad de salida y retorno del pistón =  $2.54 \frac{cm}{s}$

$l$ : Carrera máxima del pistón = 15 in = 38.1 cm

$t$ : Tiempo necesario = 15s

**Tabla 38.**

*Velocidad de salida en pistones.*

Función	Velocidad
	cm/s
<b>TAPA DEL RECEPTOR</b>	2,54
<b>CARGADOR HIDRAULICO</b>	7,79
<b>PUERTA DE FUEGO</b>	5,42
<b>PISTON CENIZA INFERIOR</b>	9,14
<b>PISTON CENIZA SUPERIOR</b>	8,13
<b>COMPUERTA DE LA CAMARA</b>	7,96

El caudal requerido de fluido hidráulico para que el embolo recorra toda la carrera será:

$$Q = v \times A \quad (2)$$

Donde:

$$Q: \text{Caudal de fluido hidráulico} = 51.48 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 3.09 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

$$v: \text{Velocidad de salida y retorno del pistón} = 2.54 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$A: \text{Área interna del pistón} = 3.14 \text{ in}^2 = 20.27 \text{ cm}^2$$

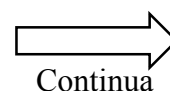
**Tabla 39.**  
*Caudal necesario en pistones*

Función	Caudal
	l/min
TAPA DEL RECEPTOR	3,09
CARGADOR HIDRAULICO	9,47
	9,47
PUERTA DE FUEGO	10,30
	10,30
PISTON CENIZA INFERIOR	29,36
PISTON CENIZA SUPERIOR	26,10
COMPUERTA DE LA CAMARA	25,56

Se comprobó en el incinerador la carga que se requiere levantar en cada pistón para saber la fuerza que debe ejercer cada uno para cumplir su función, por ejemplo, se asume que la bandeja de carga pesa 20 Kg y la carga de cada batch es de 80 Kg por lo que se tiene 100 Kg.

**Tabla 40.**  
*Carga necesaria en cada pistón*

Función	Carga
	Kg
TAPA DEL RECEPTOR	300
CARGADOR HIDRAULICO	100
	100
PUERTA DE FUEGO	150



	150
<b>PISTON CENIZA INFERIOR</b>	300
<b>PISTON CENIZA SUPERIOR</b>	300
<b>COMPUERTA DE LA CAMARA</b>	300

Para obtener la fuerza requerida que debe ejercer cada pistón se utilizará la siguiente relación

$$F = m \times g \quad (3)$$

Donde:

$F$ : Fuerza requerida = 2940 N

$m$ : Carga a levantar = 300 Kg

$g$ : Gravedad = 9.8

**Tabla 41.**  
*Fuerza requerida por cada pistón*

<b>Función</b>	<b>Fuerza</b>
	N
<b>TAPA DEL RECEPTOR</b>	2940
<b>CARGADOR HIDRAULICO</b>	980
	980
<b>PUERTA DE FUEGO</b>	1470
	1470
<b>PISTON CENIZA INFERIOR</b>	2940
<b>PISTON CENIZA SUPERIOR</b>	2940
<b>COMPUERTA DE LA CAMARA</b>	2940

Por último, se calculará la presión de cada pistón

$$P = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Donde:

$P$ : Presión de operación = 5.76 MPa = 841.53 psi

$F$ : Fuerza requerida = 2940 N

$A$ : Área de contacto del pistón con la carga =  $5.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

**Tabla 42.**

*Presión requerida por cada pistón hidráulico*

Función	Presión
	psi
<b>TAPA DEL RECEPTOR</b>	841,53
<b>CARGADOR HIDRAULICO</b>	280,51
	280,51
<b>PUERTA DE FUEGO</b>	420,77
	420,77
<b>PISTON CENIZA INFERIOR</b>	841,53
<b>PISTON CENIZA SUPERIOR</b>	841,53
<b>COMPUERTA DE LA CAMARA</b>	841,53

Por lo tanto, se considera una presión máxima de 1000 psi y dada la secuencia de activación de los pistones un caudal máximo de  $40 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$  para calcular la potencia del motor.

$$Potencia = \frac{PxQ}{\eta} \quad (5)$$

Donde:

$P$ : Potencia requerida = 5.11 KW = 6.84 HP

$P$ : Presión de operación = 1000 psi = 68.95 BAR

$Q$ : Caudal =  $40 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$

$\eta$ : Eficiencia = 0.9

Para finalizar el dimensionamiento hidráulico se adquirirá el matrimonio motor- bomba con una potencia de 10HP y una presión de 1000 psi (ver Figura 42)



**Figura 42.** Matrimonio bomba- motor hidráulico

Línea del producto	: W22 Monofásico			Código del producto :	13797314
Carcasa	: 132M			Tiempo de rotor bloqueado	: 10s (frío) 6s (caliente)
Potencia	: 7.5 kW (10 HP-cv)			Elevación de temperatura	: 105 K
Polos	: 4			Régimen de servicio	: S1
Frecuencia	: 60 Hz			Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C
Tensión nominal	: 220/440 V			Altitud	: 1000 m
Corriente nominal	: 41.6/20.8 A			Grado de protección	: IP55
Corriente de arranque	: 279/139 A			Método de refrigeración	: IC411 - TFVE
Ip/In	: 6.7			Forma constructiva	: B3D
Corriente en vacío	: 8.80/4.40 A			Sentido de giro <sup>1</sup>	: Ambos
Rotación nominal	: 1730 rpm			Nivel de ruido <sup>2</sup>	: 63.0 dB(A)
Resbalamiento	: 3.89 %			Método de Arranque	: Partida directa
Torque nominal	: 30.6 ft.lb			Masa aproximada <sup>3</sup>	: 192 lb
Torque de arranque	: 260 %				
Torque máximo	: 240 %				
Clase de aislamiento	: F				
Factor de servicio	: 1.15				
Momento de inercia (J)	: 1.15 sq.ft.lb				
Potencia	50%	75%	100%	Fuerzas en la fundación	
Rendimiento (%)	78.0	82.0	84.5	Tracción máxima	: 317 lb
Cos ?	0.94	0.96	0.97	Compresión máxima	: 509 lb
Tipo de cojinete	:	Delantero		Trasero	
Sello	:	6308 ZZ		6206 ZZ	
Intervalo de lubricación	:	V'Ring		V'Ring	
Cantidad de lubricante	:	-		-	
Tipo de lubricante	:	-		-	
			Mobil Polyrex EM		

Notas

**Figura 43.** Hoja técnica motor para bomba hidráulica.

### 3.2.1.2. Balance de masa en la cámara primaria

De la

Tabla 3 extraemos el porcentaje correspondiendo a la fracción de humedad (32.2%). Luego se obtiene 772.8 Kg de agua en los residuos.

Dado que se tendrá la masa de humedad, se calculará la masa de residuos secos extrayendo la cantidad de agua presente. La masa de residuos secos es 1627.2 Kg.

A su vez, el porcentaje de las cenizas en los residuos es 7.42%. Este valor se refiere a la cantidad no incinerable de la masa seca, por lo tanto, se calcula a partir de la masa de residuos secos. La masa de cenizas equivale a 178.08 Kg.

La masa volátil que es considerable incinerable posteriormente se convertirá en gases residuales y junto al vapor generado pasará hacia la segunda cámara en donde se realizará su combustión completa. Se define como la masa seca menos la masa de cenizas, 1449.12 Kg.

Brunner recomienda considerar ciertos factores que relacionan la energía liberada por el residuo con la liberación de kilogramos de gas seco y kilogramos de vapor. Para el cálculo de dichas masas primero se hallará la energía liberada (Brunner, 1998)

$$Q_{liberado} = P_{cal} * M_{res} \quad (6)$$

Donde:

$Q_{liberado}$ : Calor liberado tras la combustión = 3216.79 GJ

$P_{cal}$ : Poder calorífico del residuo = 13403.3 KJ/Kg

$M_{res}$ : Masa del residuo = 2400 Kg

Luego, las masas de gas y agua liberadas tras la combustión:

$$M_{gas} = f_{gas} * Q_{liberado} \quad (7)$$

Donde:

$M_{gas}$ : Masa de gas liberado = 3216.79 Kg

$f_{gas}$ : Factor de emisión de gas, (Brunner, 1998) = 0.1 Kg/MJ

$$M_{agua} = f_{agua} * Q_{liberado} \quad (8)$$

Donde:

$M_{agua}$ : Masa de agua liberada = 6433.58 Kg

$f_{agua}$ : Factor de emisión de agua, (Brunner, 1998) = 0.2 Kg/MJ

Ahora, los productos de la combustión del residuo equivalen a la suma de ambos fluidos

$$M_{prod} = M_{agua} + M_{gas} = 9650.38 \text{ Kg} \quad (9)$$

Brunner, en su método de diseño especifica que la cantidad de aire que requiere el residuo para arder de manera estequiométrica es igual a la diferencia entre la masa de los productos de combustión del desecho y la masa de los volátiles. Por lo tanto, la masa de aire estequiométrico es:

$$M_{ae} = M_{prod} - M_{volatil} \quad (10)$$

Donde:

$M_{ae}$ : Masa de aire para combustión estequiométrica = 8201.26 Kg

$M_{prod}$ : Masa de productos de combustión = 9650.38 Kg

$M_{volatil}$ : Masa volátil = 1449.12 Kg

Considerando un factor del 60% para alcanzar la condición de ambiente con oxígeno empobrecido, obtenemos la masa de aire para la combustión con defecto de aire es igual a 4920.75Kg. Este aire ingresante a la cámara primaria está compuesto por vapor de agua y aire seco. Para el cálculo del agua como humedad del aire suplementario se considerarán los siguientes supuestos, (Brunner, 1998, pág. 275):

- Las fases líquidas no contienen gases disueltos
- La fase gaseosa puede considerarse como una mezcla de gases ideales
- El equilibrio entre la fase de condensado y la fase de vapor es independiente de la mezcla gaseosa.

Definiremos la presión atmosférica y la humedad relativa para la ciudad de San Sebastián del Coca la cual se encuentra ubicada a 254 msnm obteniendo una presión de 1010,90 mBar y una humedad relativa de 94%.

Posteriormente conociendo la temperatura ambiental (28°C) y usando las tablas de propiedades termodinámicas del agua, se calcula la presión para el vapor saturado, 3.78kPa.

De la definición de humedad relativa, obtenemos la presión de vapor a la temperatura de la mezcla:

$$P_v = P_{vsat} x \varnothing \quad (11)$$

Donde:

$P_v$ : Presión de vapor = 3.55 kPa

$P_{vsat}$ : Presión de saturación del vapor a la presión atmosférica = 3.78 kPa

$\varnothing$ : Humedad relativa = 94%

Además, si consideramos que la presión total de una mezcla es la suma de las presiones parciales de los componentes en la mezcla para un mismo volumen y temperatura (Ley de Dalton para las presiones parciales) tenemos que la presión atmosférica equivale a la suma de



la presión del vapor y la presión del aire seco, por lo que la presión del aire seco se puede calcular mediante la diferencia.

$$P_{as} = P_{atm} - P_v \quad (12)$$

Donde:

$P_{as}$ : Presión de aire seco = 97.55 kPa

$P_{atm}$ : Presión atmosférica = 101.1 kPa

La humedad absoluta será calculada mediante la siguiente ecuación, que se obtuvo mediante la deducción de la ecuación de estado del gas ideal la cual es válida para describir el comportamiento de la mezcla de vapor de agua y aire como gas ideal a temperaturas menores a 65°C:

$$X = 0.622 * \left( \frac{P_{vsat} \times \phi}{P_{as}} \right) \quad (13)$$

Donde:

X: Humedad absoluta =  $0.02 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg de aire seco}}$

La masa de aire seco que ingresa y la masa de humedad aportada por este aire ingresante será:

$$M_{humedad\ aire} + M_{aire\ seco} = M_{aire\ en\ 1} \quad (14)$$

$$M_{aire\ seco} * X + M_{aire\ seco} = M_{aire\ en\ 1} \quad (15)$$

$$M_{aire\ seco} = \frac{M_{aire\ en\ 1}}{X + 1} \quad (16)$$

$$M_{humedad\ aire} = M_{aire\ seco} * X \quad (17)$$

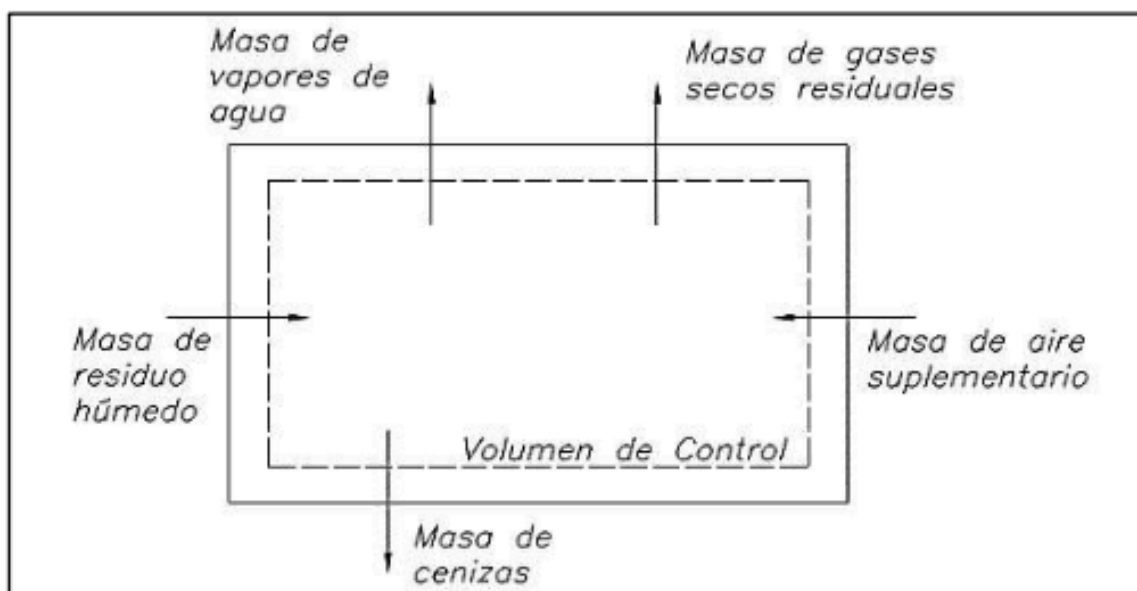
Donde:

$M_{aire\ en\ 1}$ : Masa de aire total = 4920.75 Kg

$M_{aire\ seco}$ : Masa de aire seco ingresante = 4847.08 Kg

$M_{humedad\ aire}$ : Masa de humedad ingresante mediante el aire total= 73.68 Kg

A continuación, se presenta el volumen de control que se tomó en cuenta para el análisis del balance de masas de la primera cámara (Figura 44). Por otro lado, se presenta un cuadro (Tabla 43) en donde se aprecia un resumen respectivo al balance de masa de la primera cámara.



**Figura 44.** Volumen de control para el balance de masas de la primera cámara

Fuente: (Brunner, 1998)

**Tabla 43.**

Cuadro resumen de cálculo de masa para la cámara primaria

CONCEPTO	UNIDAD	VALOR
Masa de residuos húmedos	Kg	2400
Porcentaje de humedad	%	32%
Masa de humedad	Kg	772,8
Masa seca	Kg	1627,2
Porcentaje de cenizas	%	7%
Masa cenizas	Kg	178,08
Masa volátil	Kg	1449,12
Poder calorífico del residuo	kJ/kg	13403,3
Energía liberada en la combustión del residuo	GJ	32,168
Factor de emisión de gas seco	kg/MJ	0,1
Gas seco emitido	kg	3216,79
Agua generada en la combustión	kg	6433,58
Productos de combustión	kg	9650,38

<b>Masa de aire estequiométrico</b>	kg	8201,26
<b>Fracción de aire</b>	%	60
<b>Masa de aire sub estequiométrico</b>	kg	4920,75
<b>Masa de aire seco ingresante por aire suplementario</b>	kg	4847,078014
<b>Masa de agua ingresante por el aire suplementario</b>	kg	73,67558582

Ahora, para determinar el caudal de aire necesario que debe ingresar a la cámara primaria se utiliza la densidad del aire con las consideraciones explicadas anteriormente para San Sebastián del Coca.

$$Q_{1cam} = \frac{M_{aire}}{\rho_{aire} \times t_{Trabajo}} \quad (18)$$

Donde:

$$Q_{1cam}: \text{Caudal cámara primaria} = 672.23 \frac{m^3}{h}$$

$$\rho_{aire} \text{ Densidad del aire} = 1.22 \frac{Kg}{m^3}$$

$$t_{Trabajo}: \text{Tiempo de trabajo} = 6 \text{ h}$$

$$M_{aire}: \text{Masa de aire necesaria} = 4920.75 \text{ Kg}$$

### 3.2.1.3. Selección de soplador cámara primaria.

Para la selección de un soplador se debe considerar dos aspectos. El primero es la curva característica propia del ventilador y el segundo es la curva de operación del sistema. Ambas curvas relacionan caudal con altura.

La curva característica del ventilador se obtiene de catálogos de fabricantes en donde se especificará un punto de diseño, es decir, un punto en donde es máximo el rendimiento del equipo.

Por otro lado, la curva de operación del sistema es el resultado de la suma de alturas estáticas y dinámicas del fluido y su variación respecto al caudal.

En el presente trabajo resulta imposible predecir los valores reales para la descarga puesto que existen otros equipos instalados luego del incinerador además de las variaciones reales proporcionadas por los gases emitidos tras la quema de los residuos.

Así, solo se calculan las pérdidas por fricción que experimenta el flujo de aire en su recorrido a través de la tubería. Las pérdidas por fricción se dan a lo largo de la cámara del incinerador y también cada vez que hay expansiones y contracciones de fluido debido a la estructura interna. En todas estas variaciones de área transversal se debe comprobar si fluido se encuentra en régimen laminar o turbulento, para ello se hace uso del número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \times V_{media} \times D}{\mu} \quad (19)$$

Donde:

$Re$ : Número de Reynolds = 102326.72

$\rho_{aire}$  Densidad del aire =  $1.22 \frac{Kg}{m^3}$

$V_{media}$ : Velocidad media =  $10.24 \frac{m}{s}$

$D$ : Diámetro de la tubería = 6 in = 0.1524 m

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido =  $1.86 \times 10^{-5} \frac{N.s}{m^2}$

Según W. Fox & T. McDonald, suponiendo flujo permanente, uniforme e incompresible, dichas pérdidas dependen directamente de las características superficiales como la rugosidad según la siguiente fórmula

$$h_{fricción} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (20)$$

Para el cálculo del factor de fricción, se usará el diagrama de Moody (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), asumiendo que la tubería que conecta el ventilador con el equipo son de acero comercial y diámetro de tubería 6 pulgadas, para este diámetro se obtiene una  $Rug_{relativa} = 2.5 \times 10^{-5}$ , por lo tanto:

$$f = 0.018$$

Las pérdidas por el recorrido por la tubería se consideran como perdidas mayores y las perdidas por accesorios ya sea por configuración en T, contracción de tubería, válvulas entre otros.

$$h_{fricción_1} = f x \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2xg} \quad (21)$$

Donde:

$h_{fricción_1}$ : Perdidas de altura por longitud  $0.48m = 0.30 m$

$f$ : Factor de fricción = 0.018

$L$ : Longitud de la tubería =  $0.48m$

$D$ : Diámetro de la tubería =  $6 in = 0.1524m$

$v$ : Velocidad media =  $10.24 \frac{m}{s}$

El siguiente lugar donde se dan pérdidas por fricción es en el codo de  $90^\circ$

$$h_{fricción_2} = f x \frac{L_e}{D} x \frac{v_{media}^2}{2xg} \quad (22)$$

$$v_{media} = \frac{Q_{ram1}}{A_{ram1}} \quad (23)$$

Donde:

$h_{fricción_2}$ : Perdidas de altura por codo a  $90^\circ = 2.88 m$

$f$ : Factor de fricción = 0.018

$\frac{L_e}{D}$ : Longitud equivalente para codo a  $90^\circ = 30$

$v_{media}$ : Velocidad media =  $10.24 \frac{m}{s}$

$Q_{ram1}$ : Caudal ramal 1 =  $443.67 \frac{m^3}{h}$

$A_{ram1_1}$ : Área tubería ramal 1 dividido =  $1.82 \times 10^{-2} m^2$

Ahora el flujo se divide por medio de una T, se supondrá que el flujo se divide en porcentaje por la relación existente entre los diámetros de las tuberías, para el primer ramal con diámetro de 6 pulgadas un caudal equivalente a 66.6% y para el segundo ramal con diámetro de 4 pulgadas un caudal de 34.4%

$$Q_{ram1} = Q_{cam1} \times 66.6\% \quad (24)$$

Donde:

$Q_{cam1}$ : Caudal cámara primaria =  $672.23 \frac{m^3}{h}$

$Q_{ram1}$ : Caudal primer ramal =  $443.67 \frac{m^3}{h}$

$$v_{ram1} = \frac{Q_{ram1}}{A_{ram1}} \quad (25)$$

Donde:

$v_{ram1}$ : Velocidad media ramal 1 =  $6.76 \frac{m}{s}$

$A_{ram1}$ : Caudal primer ramal =  $8.11 \times 10^{-3} m^2$

Pérdidas por fricción en el segundo codo de  $90^\circ$

$$h_{fricción_3} = f \times \frac{L_e}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (26)$$

Donde:

$h_{fricción_3}$ : Pérdidas de altura por codo a  $90^\circ = 1.25 \text{ m}$

$f$ : Factor de fricción = 0.018

$\frac{L_e}{D}$ : Longitud equivalente para codo a  $90^\circ = 30$

$v_{media}$ : Velocidad media primer ramal =  $6.76 \frac{m}{s}$

Las pérdidas debido a la T que divide en 2 ramales la tubería, la pérdida por fricción es:

$$h_{fricción_4} = f x \frac{L_e}{D} x \frac{V^2}{2xg} \quad (27)$$

Donde:

$h_{fricción_4}$ : Pérdidas de altura por configuración en T =  $5.75 \text{ m}$

$f$ : Factor de fricción = 0.018

$\frac{L_e}{D}$ : Longitud equivalente para T estándar flujo derivado = 60

$v$ : Velocidad media =  $10.24 \frac{m}{s}$

A continuación, el primer ramal seguidamente del codo se encuentra una reducción de diámetro en la tubería, por lo tanto, la pérdida aquí es:

$$h_{fricción_5} = K_c x \frac{V^2}{2xg} \quad (28)$$

$$v_{media} = \frac{Q_{ram1}}{A_{ram1}} \quad (29)$$

Donde:

$h_{fricción_5}$ : Pérdidas de altura por reducción de diámetro =  $1.18 \text{ m}$

$K_c$ : Coeficiente de pérdidas para flujo a través de cambios súbitos de área, (W. Fox & T. McDonald, pág. 393) = 0.1

$v$ : Velocidad media ramal 1 en diámetro 4 in =  $15.20 \frac{m}{s}$

$Q_{ram1\_1}$ : Caudal ramal 1 =  $443.67 \frac{m^3}{h}$

$A_{ram1\_1}$ : Área tubería ramal 1 dividido =  $8.11 \times 10^{-3} m^2$

El ramal 1 tiene una longitud de 2.20 m para lo cual el cálculo de pérdida es:

$$h_{fricción_6} = f x \frac{L}{D} x \frac{v_{media}^2}{2 x g} \quad (30)$$

$$v_{media} = \frac{Q_{ram1}}{A_{ram1}} \quad (31)$$

Donde:

$h_{fricción_6}$ : Pérdidas de altura por longitud 2.20m = 42.65 m

$f$ : Factor de fricción = 0.028

$L$ : Longitud de la tubería = 2.20m

$D$ : Diámetro de la tubería = 4 in = 0.1016m

$v_{media}$ : Velocidad media =  $15.20 \frac{m}{s}$

$Q_{ram1\_1}$ : Caudal ramal 1 =  $443.67 \frac{m^3}{h}$

$A_{ram1\_1}$ : Área tubería ramal 1 dividido =  $8.11 \times 10^{-3} m^2$

El caudal  $Q_{ram1}$  se divide en seis conductos por medio de tuberías en configuración T, consideramos una distribución uniforme del caudal por las seis tuberías, en cada tubería se encuentra una T adicional, por lo cual tenemos doce configuraciones en T. La pérdida de presión es:

$$h_{fricción_7} = f x \frac{L_e}{D} x \frac{v_{media}^2}{2 x g} \quad (32)$$



$$v_{media} = \frac{Q_{ram1_1}}{A_{ram1_1}} \quad (33)$$

Donde:

$h_{fricción_7}$ : Pérdidas de altura por 12 configuraciones de tubería en T = 20.75 m

$f$ : Factor de fricción = 0.028

$\frac{L_e}{D}$ : Longitud equivalente para T estándar flujo directo: 20

$v_{media}$ : Velocidad media =  $4.50 \frac{m}{s}$

$Q_{ram1_1}$ : Caudal ramal 1 dividido entre 6 =  $73.95 \frac{m^3}{h}$

$A_{ram1_1}$ : Área tubería ramal 1 dividido =  $4.56 \times 10^{-3} m^2$

Para finalizar el ramal 1 cuenta con un ancho de 2.45m de longitud en su tubería de 3 in, la pérdida de presión en altura es:

$$h_{fricción_8} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (34)$$

Donde:

$h_{fricción_8}$ : Pérdidas de altura por longitud 2.45m = 1.03 m

$f$ : Factor de fricción = 0.031

$L$ : Longitud de la tubería = 2.45m

$D$ : Diámetro de la tubería = 3 in = 0.0762m

$v$ : Velocidad media =  $4.50 \frac{m}{s}$

Ahora realizaremos el mismo cálculo para el ramal número 2.

$$Q_{ram2} = Q_{cam1} \times 34.4\% \quad (35)$$

Donde:

$Q_{cam1}$ : Caudal cámara primaria =  $672.23 \frac{m^3}{h}$

$Q_{ram2}$ : Caudal segundo ramal =  $228.56 \frac{m^3}{h}$

$$v_{ram2} = \frac{Q_{ram1}}{A_{ram2}} \quad (36)$$

Donde:

$v_{ram2}$ : Velocidad media ramal 2 =  $7.83 \frac{m}{s}$

$A_{ram2}$ : Área tubería segundo ramal =  $8.11 \times 10^{-3} m^2$

Perdidas por fricción para longitud de 80 cm

$$h_{fricción_9} = f x \frac{L}{D} x \frac{v_{ram2}^2}{2xg} \quad (37)$$

Donde:

$h_{fricción_9}$ : Perdidas de altura por longitud 0.8m =  $0.54 m$

$f$ : Factor de fricción = 0.022

$L$ : Longitud de la tubería =  $0.80m$

$D$ : Diámetro de la tubería =  $4 in = 0.1016m$

El siguiente lugar donde se dan pérdidas por fricción es en el codo de  $90^\circ$

$$h_{fricción_{10}} = f x \frac{L_e}{D} x \frac{v_{ram2}^2}{2xg} \quad (38)$$

$$v_{media} = \frac{Q_{ram1}}{A_{ram1}} \quad (39)$$

Donde:

$h_{fricción_{10}}$ : Perdidas de altura por codo a  $90^\circ$  =  $2.08 m$

$f$ : Factor de fricción = 0.022

$\frac{L_e}{D}$ : Longitud equivalente para codo a  $90^\circ = 30$

Siguiente tenemos pérdidas mayores por fricción para la longitud de 250cm

$$h_{fricción_{11}} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v_{ram2}^2}{2 \times g} \quad (40)$$

Donde:

$h_{fricción_{11}}$ : Pérdidas de altura por longitud 2.5m = 1.70 m

$f$ : Factor de fricción = 0.022

$L$ : Longitud de la tubería = 2.50m

$D$ : Diámetro de la tubería = 4 in = 0.1016m

El caudal  $Q_{ram2}$  se divide en seis conductos por medio de tuberías en configuración T, consideramos una distribución uniforme del caudal por las seis tuberías, en cada tubería se encuentra una T adicional, por lo cual tenemos doce configuraciones en T. La pérdida de presión es:

$$h_{fricción_{12}} = f \times \frac{L_e}{D} \times \frac{v_{media}^2}{2 \times g} \quad (41)$$

$$v_{media} = \frac{Q_{ram2_2}}{A_{ram2_2}} \quad (42)$$

Donde:

$h_{fricción_{12}}$ : Pérdidas de altura por 12 configuraciones de tubería en T = 6.10 m

$f$ : Factor de fricción = 0.031

$\frac{L_e}{D}$ : Longitud equivalente para T estándar flujo directo: 60

$v_{media}$ : Velocidad media =  $2.32 \frac{m}{s}$

$Q_{ram2_2}$ : Caudal ramal 2 dividido entre 6 =  $38.08 \frac{m^3}{h}$

$A_{ram2_2}$ : Área tubería ramal 2 dividido =  $4.56 \times 10^{-3} m^2$

El ultimo codo en el cual se encuentran perdidas por fricción

$$h_{fricción_{13}} = K_c \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (43)$$

Donde:

$h_{fricción_{13}}$ : Perdidas de altura por reducción de diámetro = 0.25 m

$K_c$ : Coeficiente de pérdidas para flujo a través de cambios súbitos de área, (W. Fox & T. McDonald, pág. 393) = 0.1

$v_{media}$ : Velocidad media =  $2.32 \frac{m}{s}$

Se considera el ancho de la tubería de 245 cm para el cálculo de pérdidas por fricción, de esta longitud son 6 tuberías.

$$h_{fricción_{14}} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v_{ram2}^2}{2 \times g} \quad (44)$$

Donde:

$h_{fricción_{14}}$ : Perdidas de altura por longitud 2.45m = 1.63 m

$f$ : Factor de fricción = 0.031

$L$ : Longitud de la tubería = 2.45m

$D$ : Diámetro de la tubería = 3 in = 0.0762m

Las pérdidas en las mangueras que finalmente ingresan a la cámara de combustión primaria se desprecian pues su coeficiente de rugosidad es muy bajo en comparación al de las tuberías de acero comercial, por lo tanto, la perdida de altura por fricción será:

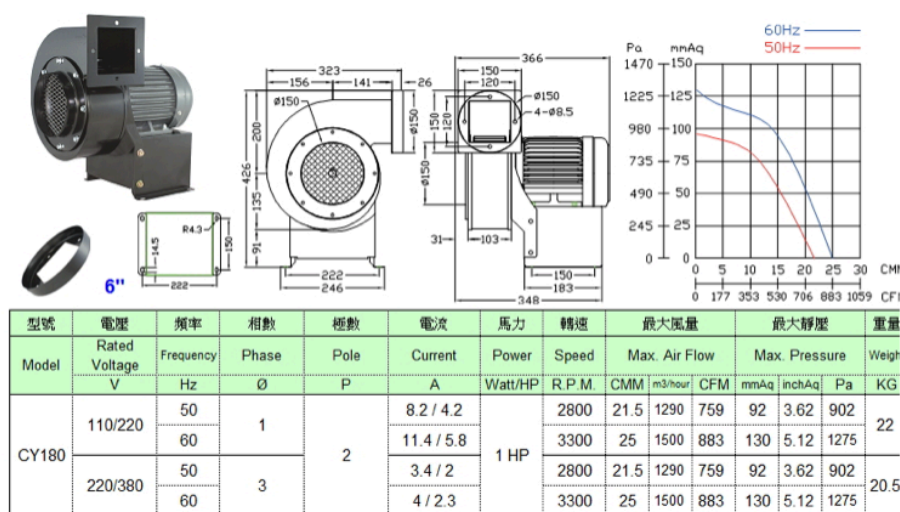
$$h_{total} = \sum h_{fricción_i} \quad (45)$$

Donde:

$h_{total}$ : Sumatoria de pérdidas mayores y menores = 88.12 m

Expresado en términos de presión se tiene  $\Delta p = 1075 \text{ Pa}$ . En donde se presenta la caída de presión a la que debería operar el ventilador de suministro de aire para la cámara primaria.

Para la selección del ventilador, se considera la caída de presión calculada y el caudal,  $Q = 400 \text{ cfm}$  o  $673 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ . Así, al verificar la curva de operación se tiene el modelo CY-180 Camyork a 220V y 60 Hz. Por otro lado, se considera que la tubería tiene un diámetro de 6 pulgadas para evitar acoples y pérdidas por accesorios adicionales.



**Figura 45.** Hoja técnica soplador CY-180

Fuente: (Camyork, s.f.)

#### 3.2.1.4. Selección bomba para envío de combustible.

Como se vio en el punto anterior, se calculan las pérdidas por fricción que experimenta el flujo de combustible en su recorrido a través de la tubería. Las pérdidas por fricción se dan a lo largo de la tubería desde la ubicación del tanque hasta el quemador doble North American 6425-5 y 6425-8A. En toda la longitud de la tubería de área transversal se debe comprobar si fluido se encuentra en régimen laminar o turbulento, para ello se hace uso del número de Reynolds.

Para determinar la velocidad a la que debe ingresar el combustible al quemador de la cámara primaria y secundario se observa la hoja técnica del quemador para conocer la demanda de combustible como se observa en la Tabla 44.

**Tabla 44.**

*Datos técnicos quemadores North American*

<b>Designación del quemador</b>	<b>Para 16 psi de presión <math>\frac{BTU}{hr}</math></b>
<b>6425-5</b>	10300000
<b>6425-8 A</b>	44800000

La cantidad de combustible necesaria será la suma del requerimiento de poder calórico de los quemadores por lo tanto será:  $5510000 \frac{BTU}{hr}$  con la demanda de poder calórico se calculará el caudal de combustible necesario.

$$Masa_{combustible} = \frac{Poder\ Calorico\ Requerido}{Poder\ Calorico\ Diesel} \quad (46)$$

Donde:

$$Masa_{combustible} = 135.19 \frac{Kg}{hr}$$

$$Poder\ Calórico\ Requerido = 5510000 \frac{BTU}{hr}$$

$$Poder\ Calórico\ del\ Diésel = 40756.136 \frac{BTU}{Kg}$$

Para el caudal de combustible se utilizará la siguiente relación

$$Q_{combustible} = \frac{Masa_{combustible}}{\delta_{Diesel}} \quad (47)$$

Donde:

$$Q_{combustible}: \text{Caudal de combustible} = 0.16 \frac{m^3}{hr}$$

$$\delta_{Diesel} : \text{Densidad del Diésel} = 850 \frac{Kg}{m^3}$$

A continuación, se procede a calcular el número de Reynolds para las pérdidas de presión por fricción en la tubería que transporta el Diésel desde el tanque hasta los quemadores

$$Re = \frac{\rho \times V_{media} \times D}{\mu} \quad (48)$$

$$V_{media} = \frac{Q_{combustible}}{A_{tuberia}} \quad (49)$$

Donde:

$Re$ : Número de Reynolds = 752.99

$\rho_{aire}$ : Densidad del diésel =  $850 \frac{Kg}{m^3}$

$V_{media}$ : Velocidad media =  $0.35 \frac{m}{s}$

$D$ : Diámetro de la tubería =  $1/2 \text{ in} = 0.0127 \text{ m}$

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido =  $5 \times 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}$

$Q_{combustible}$ : Caudal de combustible =  $0.16 \frac{m^3}{hr}$

$A_{tuberia}$ : Área de la tubería =  $1.27 \times 10^{-4} m^2$

Según W. Fox & T. McDonald, para un número del Reynolds igual a 752.99 se tiene un fluido laminar, por lo tanto, el factor de fricción se obtendrá con la siguiente relación:

$$f = \frac{0.3164}{Reynolds^{0.25}} \quad (50)$$

Donde:

$f$ : Factor de fricción = 0.0604

Como se calculó en el punto anterior, se calculará las pérdidas de presión por fricción en la tubería de ½ pulgada para el transporte de diésel.

Las pérdidas por el recorrido por la tubería se consideran como perdidas mayores y las perdidas por accesorios ya sea por configuración en T, contracción de tubería, válvulas entre otros.

$$h_{fricción_1} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (51)$$

Donde:

$h_{fricción_1}$ : Perdidas de altura por longitud 40m = 1.77 m

$f$ : Factor de fricción = 0.0604

$L$ : Longitud de la tubería = 40m

$D$ : Diámetro de la tubería =  $\frac{1}{2}$  in = 0.0127m

$v$ : Velocidad media =  $0.35 \frac{m}{s}$

El siguiente lugar donde se dan pérdidas por fricción se encuentra en la configuración de tubería codo a 90° de los cuales se contabilizaron 12.

$$h_{fricción_2} = f \times \frac{L_e}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (52)$$

Donde:

$h_{fricción_2}$ : Perdidas de altura por codo a 90° = 0.13495m

$f$ : Factor de fricción = 0.0604

$\frac{L_e}{D}$ : Longitud equivalente para codo a 90° = 30

$v$ : Velocidad media =  $0.35 \frac{m}{s}$



Para la división de fluido para que se distribuya a los 2 quemadores se dispone de un T, por lo cual la pérdida de presión por fricción será:

$$h_{fricción_3} = f x \frac{L_e}{D} x \frac{v^2}{2xg} \quad (53)$$

Donde:

$h_{fricción_3}$ : Pérdida de altura por configuración de tubería en T = 0.02249 m

$f$ : Factor de fricción = 0.0604

$\frac{L_e}{D}$ : Longitud equivalente para T estándar flujo derivado: 30

$v$ : Velocidad media =  $0.35 \frac{m}{s}$

Para la regulación de entrada de combustible a los quemadores se dispone de 2 electroválvulas

$$h_{fricción_4} = f x \frac{L_e}{D} x \frac{v^2}{2xg} \quad (54)$$

Donde:

$h_{fricción_4}$ : Pérdida de altura por válvula = 0.011995 m

$f$ : Factor de fricción = 0.0604

$\frac{L_e}{D}$ : Longitud equivalente para válvula: 8

$v$ : Velocidad media =  $0.35 \frac{m}{s}$

Se realizará la sumatoria de las pérdidas mayores y menores para obtener la pérdida total.

$$h_{total} = \sum h_{fricción_i} \quad (55)$$

Donde:

$h_{total}$ : Sumatoria de pérdidas mayores y menores = 1.94 m

Para obtener la altura que requiere la bomba se utilizará la siguiente ecuación

$$H_{bomba\ combustible} = \frac{v^2}{2xg} + h_{total} + \Delta h \quad (56)$$

Donde:

$$H_{bomba\ combustible} = 6.95\text{m}$$

$$v: \text{Velocidad media} = 0.35 \frac{m}{s}$$

$$h_{total}: \text{Sumatoria de perdidas mayores y menores} = 1.94 \text{ m}$$

$$\Delta h: \text{Variación de altura} = 5 \text{ m}$$

Expresado en términos de presión se tiene  $\Delta p = 57865.14 \text{ Pa}$ . En donde se presenta la presión a la que debería operar la bomba de suministro de combustible para los quemadores.

Para poder adquirir la bomba de suministro de combustible se busca la potencia de la misma.

$$Potencia = \frac{\delta x \dot{Q} x H x g}{\eta} \quad (57)$$

Donde:

$$\text{Potencia: Potencia de la bomba de suministro de combustible} = 3.25 \text{ HP}$$

$$\delta_{Diesel} : \text{Densidad del Diésel} = 850 \frac{Kg}{m^3}$$

$$Q_{combustible}: \text{Caudal de combustible} = 0.16 \frac{m^3}{hr}$$

$$H_{bomba\ combustible}: \text{Altura total de la bomba de suministro} = 6.95\text{m}$$

$$\eta: \text{Eficiencia} = 0.8$$

$$g: \text{Gravedad} = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

Con estos datos se tiene una idea más aproximada de la bomba que se requiere para suministrar combustible a los quemadores por lo cual se compra la bomba centrífuga con las siguientes características:

- B.C.1F A/INOX EBARA CDXM70/076 3/4HP-1.25X1 1.00 393.980
- NPT-220V
- MOTOR MONOFASICO DE 220 VAC
- Caudal Máximo: 5,5 m<sup>3</sup>/h
- Presión Máxima: 22 m (31,25) PSI

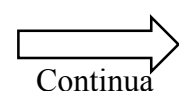
Para la selección de la bomba, se considera la caída de presión calculada y el caudal,  $Q = 0.15 \frac{m^3}{h}$  y 3.25HP. Así, la bomba de suministro de combustible se ajusta la curva de operación se tiene el modelo Ebara CDXM 3.25 HP, 60 Hz, motor monofásico. Por otro lado, se considera que la tubería tiene un diámetro de ½ pulgadas para evitar acoples y pérdidas por accesorios adicionales.

### 3.3. Programación del PLC y HMI.

Se realizará un listado con todas las variables del tablero de control para tener en cuenta cada parta del proceso. En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se encuentra la programación extendida del PLC.

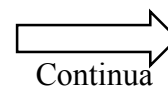
**Tabla 45.**  
*Variables para el PLC.*

SUBPROCESO	NOMBRE DE LA VARIABLE	NUMERO DE VARIABLE TABLERO	TIPO	COLOR DE CABLE
Sistema hidráulico	Sensor de nivel del tanque de aceite	Cable 1	Medición	Negro
		Cable 2		Blanco

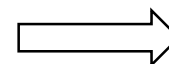


Sensor de temperatura	Cable 1	52	Medición	-
	Cable 2	53		
Electroválvula Pistón Ceniza Superior (2)	Común Válvula	75	Activación Electroválvula	-
	Señal 1	73		
	Señal 2	74		
	Inicial	64	Finales de Carrera	
	Final	65		
	Común	102		
	Electroválvula Pistón Ceniza Inferior (3)	Común Válvula	78	Activación Electroválvula
Señal 1		76		
Señal 2		77		
Inicial		63	Finales de Carrera	
Final		66		
Común		102		
Tapa del Receptor (6)	Común Válvula	87	Activación Electroválvula	-
	Señal 1	86		
	Señal 2	85		
	Abierto	67	Finales de Carrera	
	Cerrado	68		
	Común	102		
Compuerta de la cámara (1)	Común Válvula	72	Activación Electroválvula	-
	Señal 1	71		
	Señal 2	70		
	Retraído	62	Finales de Carrera	
	Retraído Magnético	54		
	Extendido	56		
	Posición media	55		
	Común	102		
Cargador o Elevador Hidráulico (4)	Común Válvula	81	Activación Electroválvula	-
	Señal 1	80		
	Señal 2	79		
	Elevado	60	Finales de Carrera	
	Abajo	61		
	Común	102		
Puerta de Fuego (5)	Común Válvula	84	Activación Electroválvula	-
	Señal 1	83		
	Señal 2	82		

Lavador de Gases		Abierta	57	Finales de Carrera		
		Cerrado	58			
		Común	102			
		Aspersor de Agua	Señal	49		
	<b>Sistema de Cadena</b>	Motor de Retiro de ceniza	Señal	20	Alimentación	-
	<b>Chimenea Bypass de Emergencia</b>	Pistón Neumático de la chimenea	Señal	109	Activación	-
			Cerrado	110	Finales de Carrera	
			Abierto	111		
		Pistón de la Caldera	Positivo	121	Activación Electroválvula	
			Señal PLC 1	102		
			Común	102	Finales de Carrera	
			Abierto	135		
			Cerrado	142		
		Sensor de Flujo	Señal 1	145	Medición de caudal	Blanco
			Señal 2	144		Azul
			Señal 3	146		Amarillo
		Sensor de Nivel Tanque	Señal 1	131	Medición de nivel	-
			Señal 2	132		
			Señal 3	130		
			Común	102		
		Sensor de Opacidad	Común	102	Sensor Derecho	-
			Señal 1	128		Blanco
			Señal 2	138		Amarillo
			Señal 3	129		Rojo
			Señal 4	141	Azul	
			Común	102	Sensor Izquierdo	-
			Señal 1	134		Rojo
			Señal 2	140		Amarillo
		Señal 3	143	Azul		
		Compuesta de Recirculación	Común	133	Pistón de la compuerta	-
			Abierto	137		
			Cerrado	136		
		Sensor de pH	Señal 1	145	Medición pH	
			Señal 2	146		
		Presutrol	Común	102	Activación	Negro
			Señal	139		Amarillo
	<b>Cámara de Combustión Primaria</b>	Final Carrera Compuerta Ceniza Posterior	Señal	123	Finales de Carrera	-
			Común	102		

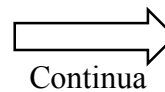


Cámara de combustión Secundaria	Luz Ultra Violeta	Señal 1	121	Detección de llama	-	
		Señal 2	121			
	Presutrol Tren de combustión	Común	102	Activación	-	Amarillo
		Señal	115			
	Electroválvulas	Común	102	Detener paso de flujo	-	
		Señal 1	117			
		Señal 2	118			
	Damper Control de Aire	Común	102	Detener paso de flujo	-	
		Señal	119			
	Chispa de ignición	Común	102	Iniciar llama	-	
		Señal	120			
	Sensor de temperatura	Común	102	Medición temperatura	-	
		Señal	-			
	Sensor de Presión	Común	102	Seguridad Chimenea	-	
		Señal	Por Asignar			
Cámara de combustión Secundaria	Presutrol Tren de combustión	Señal 1	101	Activación	-	
		Señal 2	105			
	Electroválvulas	Común	102	Detener paso de flujo	-	
		Señal para las 2	105			
	Luz Ultra Violeta	Señal 1	115	Detección de llama	-	
		Señal 2	116			
	Modutrol Quemador	Común	102	Detener paso de flujo	-	
		Señal	106			
	Modutrol Damper Aire	Común	102	Detener paso de flujo	-	
		Señal	107			
	Electroválvula combustible	Señal		Detener paso de flujo	-	
		Común	102			
	Chispa de ignición	Común	102	Iniciar llama	-	
		Señal	104			
	Switch de presión de aire	Común	0	Medición de presión	-	
Señal		100				
Caldero	Presutrol	Señal	1	Por asignar	Blanco	
		Señal	2			
		Señal	3			
		Señal	4			
		Señal	5			
		Señal	6			
		Señal	7			

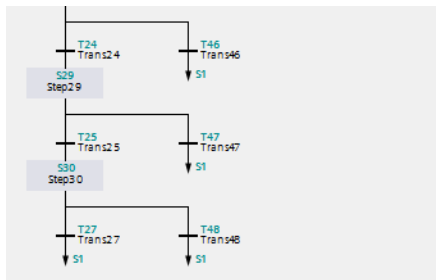
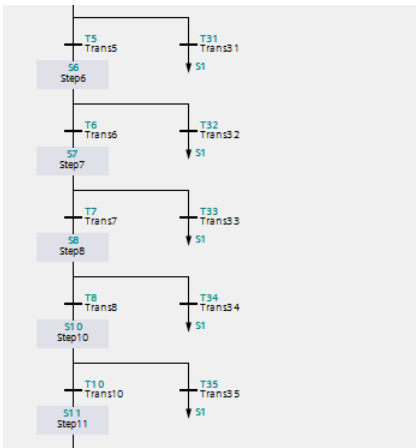
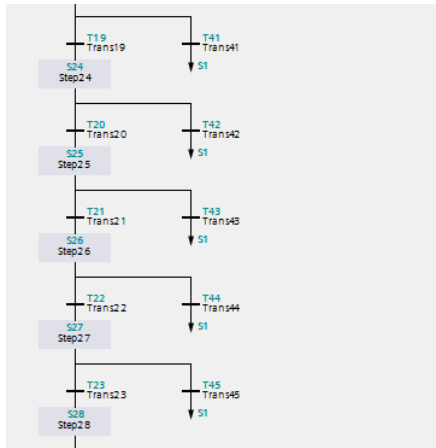
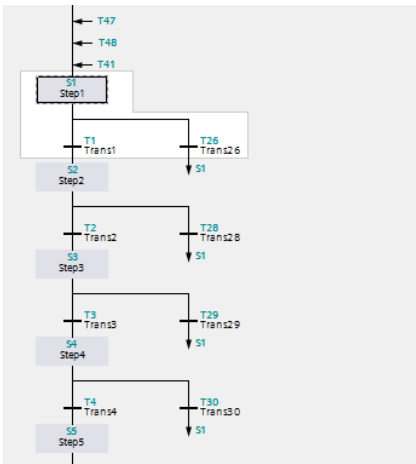
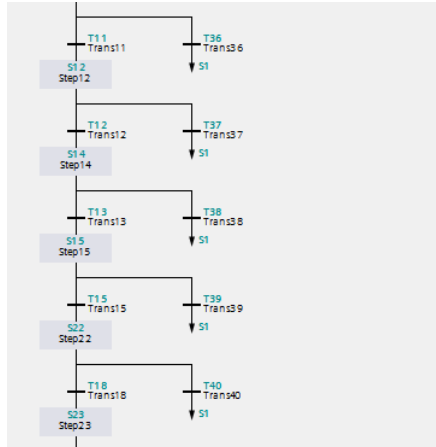
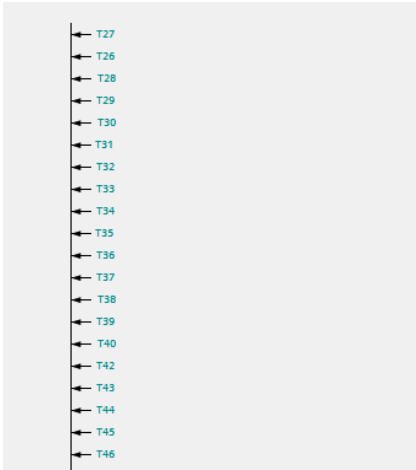


Continua

	Por Asignar (Falta sensor de nivel de agua, temperatura)	Señal		8		Azul
		Señal		9		
		Señal		10		
		Señal		11		
		Señal		12		Amarillo
		Señal		13		
		Señal		14		
		Señal		15		Rojo
		Señal		10		
<b>Seguridad</b>	Sensor de CO2	Común		102	Activación	-
		Señal		Por Asignar	Bocina	
	Bocina	Común		102	Activación	-
		Señal		Por Asignar	Bocina	
	Motor de Bomba de combustible	Señal PLC	del	Por Asignar	Activación	-
	Motor Hidráulica Bomba	Señal PLC	del	Por Asignar	Activación	-
	Soplador Condensador 1	Señal PLC	del	Por Asignar	Activación	-
	Soplador Condensador 2	Señal PLC	del	Por Asignar	Activación	-
	Blower Principal	Señal PLC	del	Por Asignar	Activación	-
	Blower Cámara Secundaria	Señal PLC	del	Por Asignar	Activación	-
	Bomba de Químico	Señal PLC	del	Por Asignar	Activación	-
	Bomba del Lavador	Señal PLC	del	Por Asignar	Activación	-
	Blower Cámara Primaria	Señal PLC	del	Por Asignar	Activación	-
	Motor Generación Presión Negativa	Señal PLC	del	Por Asignar	Activación	-

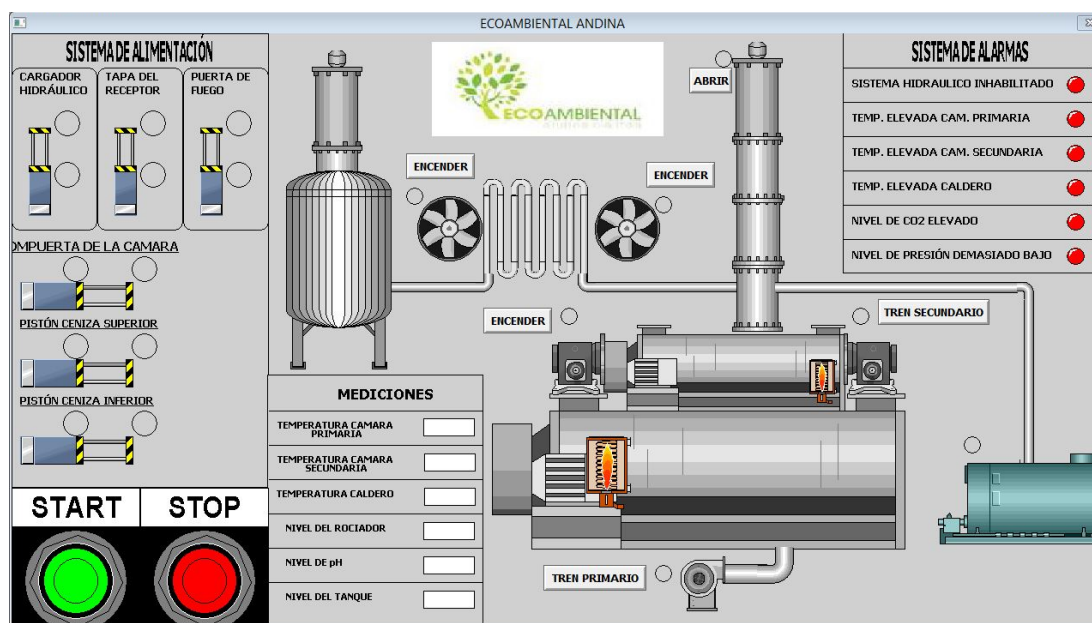


A continuación, se presentará en forma de graficet la programación realizada para el funcionamiento del incinerador.





Para el diseño del HMI se tomará en consideración la guía GEDIS y el criterio del operario para su facilidad de uso, ver *Figura 46*.




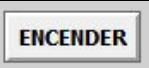
**Figura 46.** HMI Principal Incinerador

**Tabla 46.**

*Descripción de objetivos HMI Principal*

Objeto	Descripción	RGB del Fondo	Tipo de Letra	RGB de Letra	Tamaño de Letra
	Logo Empresa	255;255;255	Tahoma	0;0;0	20px
ECOAMBIENTAL ANDINA	Título Ventana	224;224;224	Tahoma	0;0;0	22px
SISTEMA DE ALARMAS	Título	224;224;224	Tahoma	0;0;0	12px
	Botón Encendido	036;231;017	Tahoma	0;0;0	12px
	Botón Paro	254;0;0	Tahoma	0;0;0	12px
	Indicador Luminoso Alerta	254;0;0	Tahoma	-	8px

➔  
Continua

	Indicador En Marcha	036;231;017	-	0;0;0	-
	Boton	0;0;10	Tahoma	0;0;0	8px

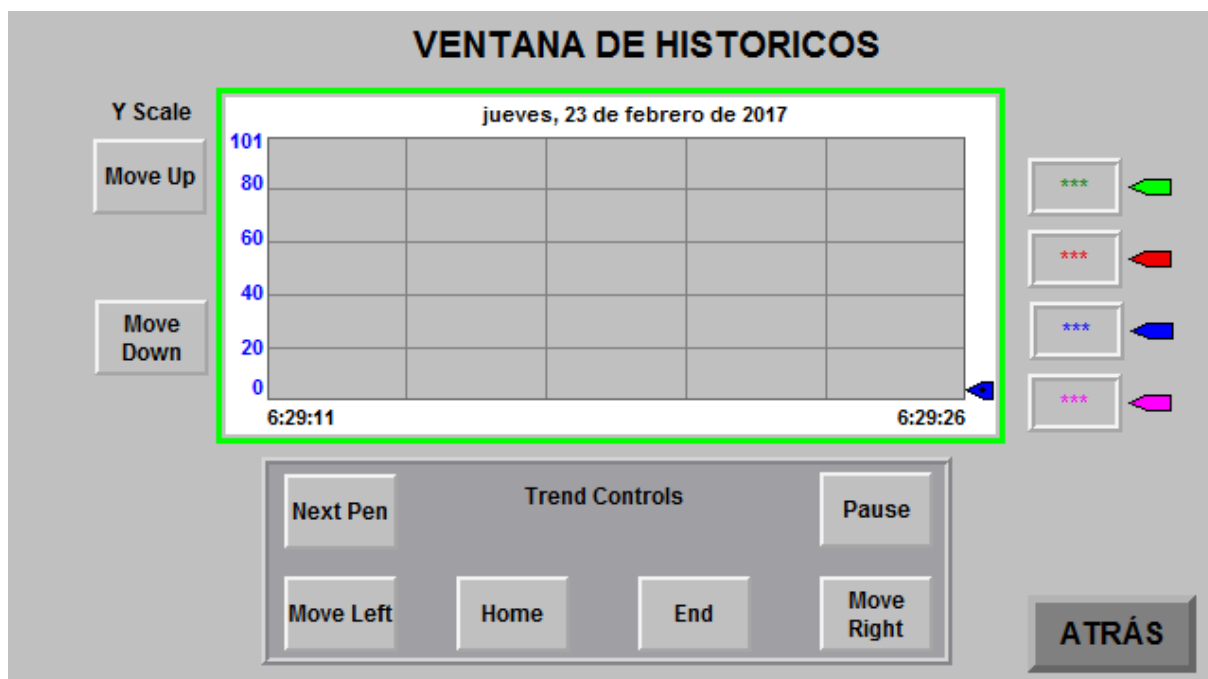
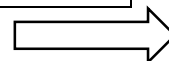


Figura 47. HMI Historicos

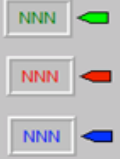
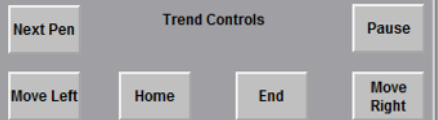

Tabla 47.

Descripción de objetivos HMI Historicos.

Objeto	Descripción	RGB del Fondo	Tipo de Letra	RGB de Letra	Tamaño de Letra
	Logo Empresa	255,255,255	Tahoma	0,0,0	20px
<b>VENTANA DE HISTORICOS</b>	Título Ventana	224;224;224	Tahoma	0;0;0	22px
	Gráfica Real Trend	224;224;224	Tahoma	0;0;0	12px



Continua

	Leyenda Real Trend	224;224;22 4	Tahom a	0;0;0	12px
	Control Históricos	224,224,224	Tahom a	0,0,0	8px
	Botón Atrás	224;224;22 4	Tahom a	0;0;0	14px

## CAPITULO IV

### 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1. Desarrollo del protocolo de pruebas

El proposito del desarrollo del protocolo de pruebas es verificar el correcto funcionamiento del incinerador PennRam PHCA-375E-15-16, por lo cual se procede a realizar una serie de pruebas involucrando a cada uno de los subsistemas expuestos en capitulos anteriores.

##### *4.1.1.1. Sistema Hidráulico.*

A continuación, se detalla una serie de medidas preventivas, como pasos previos a la ejecución del protocolo de pruebas.

- Antes de iniciar el encendido del sistema, se procederá a purgar todos los sistemas hidráulicos.
- Verificar que los elementos que conforman el sistema hidráulico en el incinerador no se observen expuestos de forma directa al polvo o ambientes con partículas sólidas dispersas.
- Observar y medir que el nivel del fluido dentro del depósito está dentro del rango para el funcionamiento.
- En caso de existir algún fluido dentro del sistema hidráulico, verificar que el nuevo fluido a colocar sea compatible, sino es así, purgar el sistema para añadir el nuevo fluido.
- Al momento de realizar un reemplazo de mangueras colocar un tapón en el extremo abierto evitando así desperdicios o derrames sobre la zona de trabajo.

- Es recomendable realizar un análisis del fluido del sistema hidráulico en un periodo de 1 año, para confirmar si este se encuentra en buen estado o presenta componentes que lo hayan contaminado, deteriorando la vida útil del mismo y del sistema hidráulico.
  - Revisar el filtro del sistema hidráulico para verificar la presencia de depósitos de goma, en caso de existir, se procederá a cambiar el filtro y también el fluido dentro del sistema.
- (Espinoza & Duque, 2018)

### **1° Prueba Inicial**

- Como prueba inicial se realizará, el funcionamiento del sistema con una presión correspondiente a la mitad de la presión máxima de servicio.
- Se mantendrá la presión de prueba por un lapso de 60 minutos y un descanso de 10 minutos, luego se repetirá el proceso una vez más.
- En el lapso de la prueba inicial se verificará que los empaques y oring cumplan con su función.
- Durante el tiempo que el sistema se encuentre encendido, visualizar la presión en la que se encuentra, considerando que la misma no debe descender 10 psi, esto se realizará con el fin de presenciar alguna anomalía como fugas del fluido.

### **2° Prueba Principal**

- Terminada la prueba inicial, se procederá a observar que no existan fugas en los empates del sistema
- Se mantendrá la presión máxima de operación por un lapso de 6 horas con intervalos de 5 minutos cada hora y se observara que existen caídas de presión.

### **3° Prueba final**

- Concluidas las dos pruebas anteriores, se verificará que el sistema de enfriamiento este operativo cuando existan elevaciones de temperatura del fluido hidráulico.
- Se realizará la secuencia de los pistones hidráulicos para observar en el manómetro que no existan pérdidas significativas de presión.
- Se comprobará que no existan fisuras en ningún elemento del sistema, evitando que el sistema se quede sin fluido por fugas.

**Tabla 48.***Protocolo de prueba sistema hidraulico*

Protocolo de Prueba:	
Prueba Inicial	
<b>Presión máx. a la mitad</b>	500 psi
<b>Caída de presión tras 30 minutos:</b>	4.5 psi (máx. 5 psi)
<b>Resultado de la prueba inicial:</b>	APROBADO
Protocolo de Prueba:	
Prueba Principal	
<b>Presión de servicio 900 psi durante 1 hora</b>	Pérdidas en psi: 5
<b>Presión de servicio 5 psi durante 5 min</b>	Pérdidas en psi: 5
<b>Presión de servicio 900 psi durante 1 hora</b>	Pérdidas en psi: 5
<b>Presión de servicio 5 psi durante 5 min</b>	Pérdidas en psi: 5
<b>Presión de servicio 900 psi durante 1 hora</b>	Pérdidas en psi: 5
<b>Presión de servicio 5 psi durante 5 min</b>	Pérdidas en psi: 5
<b>Presión de servicio 900 psi durante 1 hora</b>	Pérdidas en psi: 5
<b>Presión de servicio 5 psi durante 5 min</b>	Pérdidas en psi: 5
<b>Presión de servicio 900 psi durante 1 hora</b>	Pérdidas en psi: 5
<b>Presión de servicio 5 psi durante 5 min</b>	Pérdidas en psi: 5
<b>Resultado de la prueba Principal:</b>	APROBADO
<b>POR ENCARGO DE:</b>	ECOAMBIENTAL ANDINA
Protocolo de Prueba:	
Prueba Final	

<b>Presión de Servicio:</b>	900 psi (resultado de la prueba principal)
<b>Caída de la presión tras 6 horas:</b>	5 psi (máx. 10 psi)
<b>Resultado de la prueba Final:</b>	APROBADO
<b>POR ENCARGO DE:</b>	ECOAMBIENTAL ANDINA

#### **4.1.1.2. Sistema Neumático**

Previo al encendido del sistema neumático, se tomará en cuenta una serie de protocolos con el fin de proteger la vida humana y en consecuencia a los equipos involucrados:

- No aplicar directamente sobre una persona aire comprimido a una presión de 1.5 bar, esto puede provocar lesiones graves.
- No utilizar el aire comprimido para la limpieza de partículas de polvo en la piel o en prendas de vestir.
- Al momento de realizar limpieza de una zona de trabajo usando aire comprimido, verificar que la presión sea menor de 0.03 Mpa, además se utilizará el equipo de protección individual correctamente, en especial la protección para los ojos y/o para el rostro.
- Utilizar tapones para los oídos, evitando problemas sobre el sistema auditivo en caso de existir algún tipo de explosión.
- En caso de realizar una instalación o cambio de manguera, verificar que el suministro de aire comprimido se encuentre apagado dentro del sistema neumático.
- Verificar que todas las mangueras del sistema estén sujetas en ambos extremos de forma segura, caso contrario sujetar el extremo abierto de la manguera, evitando así un efecto

latigazo al momento de suministrar de aire comprimido al sistema, evitando accidentes.

(Cassani, 2010)

- Comprobar que la fuente de energía (aire) se encuentra libre de humedad y aceite.
- En caso de existir un algún desprendimiento de una manguera mientras el sistema se encuentra bajo presión, inmediatamente proceder a cortar la alimentación del sistema.

(Festo, 2012)

#### 1° Prueba Inicial

- Determinar la zona de trabajo en la cual se ubicará el sistema neumático o se realizará la prueba de este, luego conectar el sistema neumático al compresor y proporcionarlo de aire comprimido.
- Se realiza una prueba de presión, para lo cual se suministra al sistema de aire comprimido con una presión de 0.05MPa y se verifica un descenso de esta dentro del sistema.

#### 2° Prueba Final

- Se procede a incrementar la presión en razón de 0.10MPa hasta alcanzar la presión de 0.5MPa, se mantendrá esa cantidad de presión durante 10 minutos, en conjunto se realiza una inspección visual en el manómetro de la unidad de mantenimiento verificando los valores establecidos.
- Luego se incrementa la presión en razón de 0.10 MPa hasta llegar al valor de la capacidad de operación. Y se mantendrá dicha presión por 2 horas.
- Se comprobará que la chimenea by pass pueda abrirse sin dificultad y a una velocidad considerable, puesto que es uno de los mecanismos de seguridad del incinerador

**Tabla 49.**



*Protocolo de prueba neumática*

Protocolo de Prueba:	
<b>Zona de trabajo definida</b>	SI
<b>Conexión del sistema al compresor</b>	SI
<b>Presión de 0.05MPa</b>	SI
<b>Descenso de Presión</b>	NO
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.02 MPa (máx. 0.1 MPa)
Protocolo de Prueba:	
<b>Presión de 0.10MPa</b>	SI
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.02 Mpa
<b>Presión de 0.20MPa</b>	SI
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.02 MPa
<b>Presión de 0.30MPa</b>	SI
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.03 MPa
<b>Presión de 0.40MPa</b>	SI
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.03 MPa
<b>Presión de 0.50MPa (10 min)</b>	SI
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.03 MPa
<b>Presión de 0.60MPa</b>	SI
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.03 Mpa
<b>Presión de 0.70MPa</b>	SI
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.04 Mpa
<b>Presión de 0.80MPa</b>	SI
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.04 Mpa
<b>Presión de 0.90MPa</b>	SI
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.04 MPa
<b>Presión de 1MPa por 2 horas</b>	SI
<b>Valor de descenso de Presión</b>	0.04 Mpa
<b>Comprobación chimenea by pass</b>	SI
<b>Por encargo de:</b>	ECOAMBIENTAL ANDINA

**4.1.1.3. Tren de combustión primario.**

Después de la verificación, mantenimiento y pruebas con el sistema de combustión, se debe considerar las siguientes reglas de gestión preventiva frente a riesgos.

- Adquirir los equipos o herramientas necesarias para la instalación, montaje, mantenimiento o pruebas dentro del sistema de combustión que reúnan las garantías de seguridad.
- Mantener el área de trabajo limpia y despejada

- Informar al equipo de trabajo y colaboradores el tipo de acción a realizar en el incinerador, evitando posibles accidentes.
- Utilizar resguardos y protecciones en la máquina, dentro de partes en movimiento, calientes y en partes donde se puedan proyectar sólidos.
- Hacer uso del equipo de protección personal, puesto que se encuentran diseñados para evitar cortes e impactos. (Universidad Politécnica de Madrid, 2006)

#### 1° Prueba Inicial

Se efectuará como prueba inicial una evaluación de las actividades correspondientes al funcionamiento del sistema de combustión, es decir del sistema de alimentación de combustible y aire para el quemador.

#### 2° Prueba Final

Como prueba final se verificará el funcionamiento del tren de combustión con los parámetros requeridos del quemador.

- Se encienden los sopladores para inyectar la cantidad de aire necesaria.
- Se regulará la presión en el pressuretrol en 75 psi con un diferencial de 8 psi para el ingreso del combustible durante 1 hora.
- El modutrol IV regula la cantidad de aire que ingresa al quemador
- Por último, se enciende la chispa de ignición para que se quemé el combustible conjuntamente con los residuos que dependiendo de la composición servirán de combustible
- La luz ultra violeta verificará si es necesario encender o apagar la chispa de ignición.
- El controlador de combustión enviará las señales y la recepción de los parámetros necesarios, se pondrá en funcionamiento durante 5 minutos esperando llegar a 730 °C con una variación sea de 10 °C

**Tabla 50.***Protocolo de prueba tren de combustión primario*

Protocolo de Prueba:

1° Prueba Inicial

<b>EQUIPAMIENTO</b>	<b>ESTADO</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>Bomba de Combustible</b>	OK	OK
<b>Tubería para combustible</b>	OK	OK
<b>Pressuretrol</b>	OK	OK
<b>Electroválvulas ligadas a pressuretrol</b>	OK	OK
<b>Luz Ultra violeta</b>	OK	OK
<b>Blower cámara primaria</b>	OK	OK
<b>Blower principal</b>	OK	OK
<b>Chispa de ignición</b>	OK	OK
<b>Modutrol IV blower principal</b>	OK	OK
<b>Modutrol IV blower cámara primaria</b>	OK	OK
<b>Regulador mezcla aire combustible</b>	OK	OK
<b>Sensor de temperatura</b>	OK	OK
<b>Tubería de aire cámara primaria</b>	OK	OK
<b>Quemador doble cámara primaria</b>	OK	OK

Protocolo de Prueba:

2° Prueba Final

<b>VERIFICACIÓN DE FALLAS EN EL EQUIPO</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>Ruido y Vibración blower cámara primaria</b>		X
<b>Ruido y Vibración blower principal</b>		X
<b>Presión pressuretrol 75 psi</b>	X	
<b>Regulador mezcla aire – combustible</b>	X	
<b>Sensor de temperatura</b>	X	
<b>Modutrol IV blower cámara primaria</b>	X	
<b>Modutrol IV blower principal</b>	X	
<b>Fallo de la chispa de ignición</b>	X	
<b>Detección de llama por la luz ultra violeta</b>	X	
<b>Falla por tiempo de operación de los blowers</b>		X
<b>Tubería de repartición de aire cámara primaria</b>		X
<b>Quemador doble</b>	X	

Por encargo de: ECOAMBIENTAL ANDINA

#### **4.1.1.4. Tren de combustión Secundario**

Después de la verificación, mantenimiento y pruebas con el sistema de combustión, se debe considerar las reglas de gestión preventiva frente a riesgos expuestos en el tren de combustión primario.

##### **1° Prueba Inicial**

Se efectuará como prueba inicial una evaluación de las actividades correspondientes al funcionamiento del sistema de combustión del tren secundario, es decir del sistema de alimentación de combustible y aire para el quemador.

##### **2° Prueba Final**

Como prueba final se verificará el funcionamiento del tren de combustión con los parámetros requeridos del quemador.

- Se encienden los sopladores para inyectar la cantidad de aire necesaria.
- Se regulará la presión en el pressuretrol en 75 psi con un diferencial de 8 psi para el ingreso del combustible durante 1 hora.
- El modutrol IV regula la cantidad de aire que ingresa al quemador
- Por último, se enciende la chispa de ignición para que se quemé el combustible conjuntamente con los residuos que dependiendo de la composición servirán de combustible
- La luz ultra violeta verificará si es necesario encender o apagar la chispa de ignición.
- El switch de presión ayudará a prevenir que no exista una presión elevada de aire.
- El controlador de combustión enviará las señales y la recepción de los parámetros necesarios, se pondrá en funcionamiento durante 5 minutos esperando llegar a 730 °C con una variación sea de 10 °C

**Tabla 51.***Protocolo de prueba tren de combustión secundario*

Protocolo de Prueba:

1° Prueba Inicial

<b>EQUIPAMIENTO</b>	<b>ESTADO</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>Bomba de Combustible</b>	OK	OK
<b>Tubería para combustible</b>	OK	OK
<b>Pressuretrol</b>	OK	OK
<b>Electroválvulas ligadas a pressuretrol</b>	OK	OK
<b>Luz Ultra violeta</b>	OK	OK
<b>Blower cámara secundaria</b>	OK	OK
<b>Blower principal</b>	OK	OK
<b>Chispa de ignición</b>	OK	OK
<b>Modutrol IV blower cámara secundaria</b>	OK	OK
<b>Regulador mezcla aire combustible</b>	OK	OK
<b>Sensor de temperatura cámara secundaria</b>	OK	OK
<b>Tubería de aire cámara secundaria</b>	OK	OK
<b>Quemador doble cámara secundaria</b>	OK	OK

2° Prueba Final

<b>VERIFICACIÓN DE FALLAS EN EL EQUIPO</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>Ruido y Vibración blower cámara secundaria</b>		X
<b>Ruido y Vibración blower principal</b>		X
<b>Fallo en la medición de presión pressuretrol 75 psi</b>		X
<b>Fallo en activación de electroválvulas ligadas al pressuretrol</b>		X
<b>Regulador mezcla aire – combustible</b>		X
<b>Sensor de temperatura</b>		X
<b>Fallo en activación de Modutrol IV blower cámara secundaria</b>		X
<b>Chispa de ignición</b>		X
<b>Detección de llama por la luz ultra violeta</b>		X
<b>Falla por tiempo de operación de los blowers 6 horas</b>		X
<b>Tubería de repartición de aire cámara secundaria</b>		X

Por encargo de: ECOAMBIENTAL ANDINA

#### **4.1.1.5. Sistema Scrubber o lavador de gases.**

Previo a la instalación, montaje, mantenimiento o pruebas de un sistema, considerar las reglas de gestión preventiva frente a riesgos químicos

- Adquirir los equipos o herramientas necesarios para la instalación, montaje, mantenimiento o pruebas dentro del lavador de gases.
- Mantener el área de trabajo limpia y despejada
- Hacer uso del equipo de protección personal (EPP), puesto que se encuentran diseñados para evitar contacto con los químicos directamente.

##### 1° Prueba Inicial

Se efectuará como prueba inicial una evaluación de las actividades correspondientes al funcionamiento del sistema de lavado de gases, es decir del sistema de inyección de químicos para el control de pH y particulado.

##### 2° Prueba Final

Como prueba final, se realizó una evaluación de posibles fallas que se pueden presentar en este sistema, para lo cual se ejecuta el proceso de lavado de gases sin carga, encendiendo las bombas de químico y de licor para comprobar las mediciones de pH, flujo y presión que se tiene en el lavador, y la temperatura que viene desde el caldero. Esta prueba se realizará por 30 minutos, concluido este tiempo se evalúa los parámetros definidos en la Tabla 52.

**Tabla 52.***Protocolo de prueba Scrubber*

Protocolo de Prueba:

1° Prueba Inicial

<b>EQUIPAMIENTO</b>	<b>ESTADO</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>Bomba de licor</b>	OK	OK
<b>Tubería del Scrubber</b>	OK	OK
<b>Pressuretrol</b>	OK	OK
<b>Electroválvulas ligadas a pressuretrol</b>	OK	OK
<b>Bomba de químico</b>	OK	OK
<b>Sensor de pH</b>	OK	OK
<b>Sensor de nivel</b>	OK	OK
<b>Sensor de opacidad</b>	OK	OK
<b>Modutrol IV paso del caldero</b>	OK	OK
<b>Ventilador 1 sistema de enfriamiento</b>	OK	OK
<b>Ventilador 2 sistema de enfriamiento</b>	OK	OK

Protocolo de Prueba:

2° Prueba Final

<b>VERIFICACIÓN DE FALLAS EN EL EQUIPO</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>Ruido y Vibración bomba de químico</b>		X
<b>Ruido y Vibración bomba de licor</b>		X
<b>Fallo en la medición de presión pressuretrol 75 psi</b>		X
<b>Fallo en activación de electroválvulas ligadas al pressuretrol</b>		X
<b>Fallo en la medición de temperatura</b>		X
<b>Fallo en activación de modutrol IV paso del caldero</b>		X
<b>Fallo en la medición de pH</b>		X
<b>Fallo en la medición de nivel tanque de licor</b>		X
<b>Fallo en medición de opacidad de los gases</b>		X
<b>Recalentamiento Ventilador 1 Sistema de enfriamiento</b>		X
<b>Recalentamiento Ventilador 1 Sistema de enfriamiento</b>		X

Por encargo de: ECOAMBIENTAL ANDINA

#### **4.1.1.6. Sistema Eléctrico y de control.**

Previo a la realización de una prueba en un sistema energizado se consideran medidas preventivas:

- Asegurarse que el sistema se encuentra des energizado.
- Verificar conexión correcta a tierra
- Previo a realizar una instalación, montaje o mantenimiento dentro del equipo, preparar las correspondientes herramientas a utilizar para la ejecución de las actividades preventivas y correctivas.
- Verificar que los puntos en los que se realizarán las pruebas se encuentren en perfectas condiciones y sean los apropiados para las mediciones
- Asegurarse de aplicar los valores de voltajes de prueba dentro de la capacidad operacional
- Utilizar el equipo de protección personal correspondiente.

##### 1° Prueba Inicial

Dentro de todo sistema eléctrico es de primordial importancia verificar que el equipo se encuentre óptimas condiciones, con la finalidad de que este no presente un cortocircuito o fallas a tierra, para lo cual se realiza como prueba básica la medición de continuidad en cables, para lo cual se utilizará el multímetro y medirá continuidad en la alimentación del tablero de control y en cada uno de los elementos que lo conforman, verificando que los cables dispongan de ambos extremos conectados a los elementos según los planos eléctricos realizados.

##### 2° Prueba Final



En esta etapa del protocolo de pruebas se procede a evaluar el estado y la funcionalidad de los elementos que conforman la parte eléctrica de control, para lo cual se utilizará el listado correspondiente a este ítem.

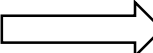
**Tabla 53.**

*Protocolo de prueba sistema eléctrico y de control.*

Protocolo de Prueba:

1° Prueba Inicial

<b>EQUIPAMIENTO</b>	<b>Continuidad</b>
<b>Electroválvula compuerta de la cámara (1)</b>	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok
<b>Electroválvula Pistón Ceniza Superior (2)</b>	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok
<b>Electroválvula Pistón Ceniza Inferior (3)</b>	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok
<b>Electroválvula del cargador o Elevador Hidráulico (4)</b>	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok
<b>Electroválvula puerta de Fuego (5)</b>	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok
<b>Electroválvula tapa del Receptor (6)</b>	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok
<b>Bomba hidráulica</b>	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C32</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC12510</b>	Ok
<b>Electroválvula pistón chimenea bypass</b>	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok
<b>Pistón de la Caldera</b>	Ok
<b>Compuesta de Recirculación</b>	Ok
<b>Motor de Bomba de combustible</b>	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C10</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC11210</b>	Ok
<b>Soplador Condensador 1</b>	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C32</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC12510</b>	Ok
<b>Soplador Condensador 2</b>	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C32</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC12510</b>	Ok
<b>Blower Principal</b>	Ok

  
Continua

<b>Disyuntor Schneider Electric C50</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC12510</b>	Ok
<b>Blower Cámara Secundaria</b>	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C20</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC11210</b>	Ok
<b>Bomba de Químico</b>	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C20</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC10310</b>	Ok
<b>Bomba de licor</b>	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C10</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC11210</b>	Ok
<b>Blower Cámara Primaria</b>	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C10</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC10310</b>	Ok
<b>Motor Generación Presión Negativa</b>	Ok
<b>Breaker Chint NM1</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC2-150</b>	Ok
<b>Relay térmico EBASEE TR-F5369</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC2-150</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC1-6511</b>	Ok
<b>Temporizador Star- Delta Timer</b>	Ok
<b>Motor remoción de cenizas</b>	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C20</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC10310</b>	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC10310</b>	Ok

## 2° Prueba Principal

<b>EQUIPAMIENTO</b>	<b>ESTADO</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>Electroválvula Pistón compuerta de la cámara (1)</b>	Ok	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok	Ok
<b>Electroválvula Pistón Ceniza Superior (2)</b>	Ok	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok	Ok
<b>Electroválvula Pistón Ceniza Inferior (3)</b>	Ok	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok	Ok
<b>Electroválvula Pistón cargador o Elevador Hidráulico (4)</b>	Ok	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok	Ok
<b>Electroválvula Pistón puerta de Fuego (5)</b>	Ok	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok	Ok



<b>Electroválvula tapa del Receptor (6)</b>	Ok	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok	Ok
<b>Bomba hidráulica</b>	Ok	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C32</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC12510</b>	Ok	Ok
<b>Electroválvula pistón chimenea bypass</b>	Ok	Ok
<b>Relay idec RH4B-UL AC120</b>	Ok	Ok
<b>Pistón de la Caldera</b>	Ok	Ok
<b>Compuesta de Recirculación</b>	Ok	Ok
<b>Motor de Bomba de combustible</b>	Ok	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C10</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC11210</b>	Ok	Ok
<b>Soplador Condensador 1</b>	Ok	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C32</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC12510</b>	Ok	Ok
<b>Soplador Condensador 2</b>	Ok	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C32</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC12510</b>	Ok	Ok
<b>Blower Principal</b>	Ok	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C50</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC12510</b>	Ok	Ok
<b>Blower Cámara Secundaria</b>	Ok	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C20</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC11210</b>	Ok	Ok
<b>Bomba de Químico</b>	Ok	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C20</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC10310</b>	Ok	Ok
<b>Bomba de licor</b>	Ok	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C10</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC11210</b>	Ok	Ok
<b>Blower Cámara Primaria</b>	Ok	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C10</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC10310</b>	Ok	Ok
<b>Motor Generación Presión Negativa</b>	Ok	Ok
<b>Breaker Chint NM1</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC2-150</b>	Ok	Ok
<b>Relay térmico EBASEE TR-F5369</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC2-150</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC1-6511</b>	Ok	Ok

<b>Temporizador Star- Delta Timer</b>	Ok	Ok
<b>Motor remoción de cenizas</b>	Ok	Ok
<b>Disyuntor Schneider Electric C20</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC10310</b>	Ok	Ok
<b>Relay Magneto térmico Chint NC10310</b>	Ok	Ok
<b>Por encargo de: ECOAMBIENTAL ANDINA</b>		

#### 4.2. Pruebas y resultados del sistema Mecatrónico general.

Finalmente, una vez implementado todos los sistemas hidráulicos, neumático, eléctricos y de control, se pone a prueba de manera funcional los subsistemas en conjunto, evaluando su funcionamiento mediante un listado de las actividades que debe cumplir el equipo como tal, además de ser evaluada la parte externa del mismo:

**Tabla 54.** *Protocolo de prueba Sistema Mecatrónico*

Protocolo de Prueba:		
<b>PRUEBAS EFECTUADAS</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>Desplazamiento Pistón compuerta de la cámara</b>	Ok	N/A
<b>Desplazamiento Pistón ceniza superior</b>	Ok	N/A
<b>Desplazamiento Pistón ceniza inferior</b>	Ok	N/A
<b>Desplazamiento Pistón elevador Hidráulico</b>	Ok	N/A
<b>Desplazamiento Pistón puerta de Fuego</b>	Ok	N/A
<b>Desplazamiento Pistón tapa del receptor</b>	Ok	N/A
<b>Desplazamiento Pistón de la chimenea</b>	Ok	N/A
<b>Activación tren de combustión primario</b>	Ok	N/A
<b>Activación tren de combustión secundario</b>	Ok	N/A
<b>Lavado de gases</b>	Ok	N/A
<b>Enfriamiento de gases</b>	Ok	N/A
<b>Quema de desechos</b>	Ok	N/A
<b>Por encargo de: ECOAMBIENTAL ANDINA</b>		

Concluido el protocolo de pruebas en conjunto del incinerador PennRam PHCA-375E-15-16, se puede detallar el funcionamiento de todos los sistemas involucrados manifestando lo siguiente:

- Controlar el sistema hidráulico para cargar los desechos peligrosos al incinerador
- Controlar la temperatura de la cámara de combustión primaria y secundaria
- Retirar las cenizas del incinerador para su tratamiento posterior
- Lavar los gases eliminando las dioxinas y furanos presentes en los desechos.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones.

Mediante la implementación de diseño concurrente se recuperó satisfactoriamente el incinerador PennRam PHCA-375E-15-16. El proceso de ingeniería inversa analizó a detalle elementos del incinerador para comprender su funcionamiento y corregir fallas en ellos, por último, se diseñó un HMI para que la máquina pueda trabajar de manera más eficiente disminuyendo los tiempos de activación mediante pulsadores de cada sistema.

Se estableció que existen tres procesos de funcionamiento principales en el incinerador, el electrónico, mecánico y control los cuales se dividen en subsistemas como se detalla en el capítulo 2 sección 2.6, dichos subsistemas son: cargador hidráulico, cámaras de combustión, remoción de ceniza, lavador de gases. El análisis de estos subprocesos dio como resultado la determinación correcta del proceso principal (Incineración de desechos peligrosos).

El conocer los sistemas y procesos del incinerador permitió identificar los elementos que componen cada subsistema necesario para dar cumplimiento con los subprocesos y proceso mencionados. Se pudo realizar un levantamiento de necesidades de elementos faltantes basándonos en las solicitudes de cada subproceso. Estos requerimientos sirvieron como referencia para diseño y dimensionamiento de dichos componentes, así como para la adquisición de elementos de los cuales se tenía información que también debían ser compatibles con los elementos ya presentes en la máquina y con la recomendación del fabricante del incinerador.

Se diseñó una interfaz gráfica (HMI) y una lógica de programación acorde con el funcionamiento de cada subsistema que permita a un operador manejar de una forma más didáctica, disminuyendo los tiempos de operación como se realizaba anteriormente mediante pulsadores.

Se realizó la puesta en marcha del incinerador exitosamente, se observó que cumple con los requerimientos del proceso mencionado anteriormente. Se avala su funcionamiento en el campo industrial mediante las pruebas realizadas en el capítulo 4, donde se ensaya cada subsistema mediante un protocolo de pruebas solicitado y aprobado por la empresa ECOAMBIENTAL ANDINA. Este protocolo pone a prueba los elementos principales de cada subsistema trabajando en conjunto con los elementos secundarios, y realiza una prueba global de los subsistemas trabajando en conjunto. El incinerador PennRam PHCA-375E-15-16 aprobó dichas pruebas.

## **5.2. Recomendaciones**

Previo a la manipulación de una máquina o equipo, se recomienda leer los manuales de operación proporcionados al momento de adquirir el equipo y verificar si este no dispone de un protocolo de pruebas.

Se recomienda elaborar un programa de acción dentro de la empresa que permita establecer fechas para realizar un plan de mantenimiento preventivo de las partes que se encuentran sometidas a un mayor desgaste y expuestas a un ambiente con partículas dañinas.

Proceder a una capacitación por parte de la empresa a los trabajadores que operarán el incinerador para evitar posibles accidentes.

Se recomienda al personal utilizar el equipo de protección personal, considerando lo siguiente; de forma obligatoria se tiene que usar las botas de seguridad y la protección visual, de forma esporádica se usará guantes con el propósito de manipular químicos o cenizas contaminadas.



## BIBLIOGRAFIA

- Ministerio del ambiente. (2015). *Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria*. Ministerio del ambiente. Corporación de estudios y publicaciones.
- Ministerio del ambiente. (2015). *Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria*. Ministerio del ambiente. Quito: Corporacion de estudios y publicaciones.
- Instituto de estudios tecnológicos prosperos . (Agosto de 2016). *Prevención y Control Integrado de la Contaminación (IPPC)*. Recuperado el 9 de Abril de 2018, de <http://prtr-es.es/data/images/BREF-Incineración-de-Residuos-Borrador-castellano.pdf>
- Distrito Metropolitano de Quito. (Marzo de 2015). Recuperado el 9 de Abril de 2018, de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/biblioteca-digital/category/15-marco-normativo?download=301:propuesta-norma-tecnica-residuos-peligrosos-y-especiales&start=20>.
- Salvador, A. R. (2016). Recuperado el 9 de Abril de 2018, de Departamento de Ingeniería Química, Universidad Complutense de Madrid: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00913.pdf>
- Arteche, J. (2014). *Diseño de un incinerador para el cremado de desechos humanos*. Tesis, Instituto Superior Politécnico, Facultad de Ingeniería Mecánica, La Habana.
- Freeman, H. (1989). *Standard Handbook of hazardous waste treatment and disposal*.
- EPA. (s.f.). Norma, Environmental Protection Agency, USA.
- AIU. (s.f.). *Sistemas Hidráulico*. Practica, American Intercontinental University, Departamento de Ingeniería mecánica.
- W. Fox, R., & T. McDonald, A. (s.f.). *Introducción a mecánica de fluidos* (Vol. IV). Naucalpan, Juarez, México: McGraw-Hill.
- Brunner. (1998). *Handbook of incineration Systems*. McGraw Hill.
- Barrantes, V. (2015). *Diseño energético de un incinerador para 700Kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP*. Tesis, Ponticia Universidad Católica del Peru, Lima.
- SHEFFER. (2014). *Pneumatic & Hydraulic cylinders*. Catalogo, SHEFFER, Hydraulic.
- Sena. (2008). *Motores y generadores AC*. Recuperado el 16 de 05 de 2018, de <http://acdcmotorygenerator.blogspot.com/2009/05/partes-motor-corriente-alterna.html>
- Camyork. (s.f.). *Sopladores*. (Camyork, Productor) Recuperado el 10 de 07 de 2018, de Sopladores: <https://blower-fan.en.taiwantrade.com/product/ventilator-cy180-1341397.html#>

- Cassani, M. (31 de Marzo de 2010). *Marcelo Cassani's Blog*. Recuperado el 21 de 07 de 2018, de <https://marcelocassani.wordpress.com/2010/03/31/reglas-de-seguridad-en-uso-de-aire-comprimido/>
- Festo. (Junio de 2012). *Festo Didactic*. Recuperado el 21 de Junio de 2018, de [http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/567267\\_leseprobe\\_es.pdf](http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/567267_leseprobe_es.pdf)
- Universidad Politécnica de Madrid*. (Noviembre de 2006). Obtenido de <http://www.upm.es/sfs/Rectorado/Gerencia/Prevencion%20de%20Riesgos%20Laborales/Informacion%20sobre%20Prevencion%20de%20Riesgos%20Laborales/Manuales/folleto%20laboratorios%20mec%C3%A1nicos%2017nov2006.pdf>
- Google Blogspot. (26 de Agosto de 2011). *Automatización Industrial* . Recuperado el 20 de Abril de 2018, de <http://industrial-automatizada.blogspot.com>
- Tecnología. (2014). *Motor Eléctrico*. Recuperado el 17 de Abril de 2018, de <http://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm>
- E. A., & D. K. (2018). *Ingeniería inversa, rediseño y puesta en marcha de la máquina PF-1000M para le empresa incorea cables*. Tesis, Universidad de las fuerzas armadas-ESPE, Ciencias de la Energía y Mecánica, Sangolqui.

