



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: DRIULINI TIPANTASIG, DAVID LEONARDO

VERDEZOTO PEREIRA, JAVIER RICARDO

**TEMA: REPOTENCIACIÓN DE LA UNIDAD DE COMBUSTIÓN CONTINUA
PARA SU USO EN LOS LABORATORIOS DE ENERGÍAS DEL DECEM DE LA
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

DIRECTOR: ING. GUTIERREZ, ROBERTO

CODIRECTOR: ING. DIAZ, JUAN

SANGOLQUÍ, NOVIEMBRE 2013

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto **“REPOTENCIACIÓN DE LA UNIDAD DE COMBUSTIÓN CONTINUA PARA SU USO EN LOS LABORATORIOS DE ENERGÍAS DEL DECEM DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.”** fue realizado en su totalidad por los señores Javier Ricardo Verdezoto Pereira y David Leonardo Driulini Tipantasig, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniera Mecánica.

Ing. Roberto Gutiérrez

DIRECTOR

Ing. Juan Díaz Toachi

CODIRECTOR

Sangolquí, 2013-07-10

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

**Nosotros, JAVIER RICARDO VERDEZOTO PEREIRA Y DAVID
LEONARDO DRIULINI TIPANTASIG**

DECLARAMOS QUE:

La tesis / proyecto de grado titulado **“REPOTENCIACIÓN DE LA UNIDAD DE COMBUSTIÓN CONTINUA PARA SU USO EN LOS LABORATORIOS DE ENERGÍAS DEL DECEM DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis/proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 7 de Noviembre del 2013

Javier Ricardo Verdezoto Pereira

1716384936

David Leonardo Driulini Tipantasig

1713019956

AUTORIZACIÓN

**Nosotros, JAVIER RICARDO VERDEZOTO PEREIRA Y DAVID LEONARDO
DRIULINI TIPANTASIG**

Autorizamos a la Universidad de las fuerzas armadas (ESPE) la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado **“REPOTENCIACIÓN DE LA UNIDAD DE COMBUSTIÓN CONTINUA PARA SU USO EN LOS LABORATORIOS DE ENERGÍAS DEL DECEM DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 07 de Noviembre de 2013.

Javier Ricardo Verdezoto Pereira

1716384936

David Leonardo Driulini Tipantasig

1713019956

DEDICATORIA

Yo, Javier Ricardo Verdezoto Pereira dedico este proyecto por sobre todas las cosas a Dios quien me dio fortaleza para poder culminarlo con éxito.

A mis padres Marco y Enith que son un ejemplo de superación y pilares fundamentales en mi formación como persona y profesional.

A mi hermano Víctor que ha sido para mí un ejemplo a seguir durante toda mi vida y un gran apoyo en mi formación y un amigo incondicional.

A mi amigo y mi otro hermano David Driulini por la confianza y el apoyo que nos supimos brindar durante la realización de este proyecto y durante toda nuestra vida universitaria.

A mi novia Karla Farinango por ser ese apoyo incondicional y soporte durante todo este proyecto.

A todos mis amigos y compañeros que hicieron de esta etapa universitaria algo inolvidable y una experiencia de vida que jamás la voy olvidar.

Por ultimo a todos los laboratoristas de la carrera que de una u otra manera estuvieron presentes en nuestro proyecto así como en toda nuestra vida dentro de la universidad.

Este es un proyecto que determina la culminación de una etapa más de formación y se los dedicó a todos ustedes.

Javier Ricardo Verdezoto Pereira

DEDICATORIA

Yo, David Leonardo Driulini dedico este proyecto de tesis de grado, en primer lugar a mi Padre Adelchi Driulini y a mi Madre María Isabel Tipantasig, por la fuerza que me han brindado y por el apoyo incondicional, como pilares de mi formación tanto personal como profesional. A cada uno de los integrantes de mi familia que con sus palabras, me han brindado no solo apoyo moral sino también confianza y seguridad, para seguir adelante con todos los propósitos y metas que me he planteado.

A mi compañero de tesis, amigo y hermano Javier Verdezoto, ya que en el transcurso de varios años hemos aprendido no solo a sobrellevar cualquier situación sino también a trabajar arduamente como un gran equipo, por su amistad verdadera y por siempre apoyarnos el uno al otro en todo momento.

A mis compañeros y amigos, ya que cada uno en el transcurso de mis días por institución y en el día a día de la vida, me han brindado una semilla de ellos mismos, y que con su camaradería me han incentivado a lograr cosas y cumplir objetivos difíciles.

A mi novia Fernanda Salazar por apoyarme incondicionalmente en cada una de las decisiones que tomo, así como presionarme para la culminación de este proyecto. Y para todas las personas que con su colaboración nos han aportado granitos sumamente importantes para el desarrollo y culminación del mismo.

Por todos ustedes, muchas gracias. Este proyecto es para ustedes.

David Leonardo Driulini Tipantasig

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por la oportunidad de culminar este largo camino con éxito valiéndonos de todo nuestro esfuerzo, a nuestra madre Dolorosa por guiarnos durante toda la vida estudiantil y a nuestras familias por el apoyo incondicional prestado a lo largo de toda nuestra vida.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) y a la Carrera de Ingeniería Mecánica por todos los conocimientos impartidos durante nuestro pasos por sus aulas; al Ing. Roberto Gutiérrez Director del proyecto y al Ing. Juan Díaz Co-director del proyecto por su colaboración incondicional, su confianza y su apoyo a la realización y culminación del presente proyecto.

A todos los laboratoristas de la Carrera de Ingeniería Mecánica en especial al Ing. Alberto Naranjo por las facilidades brindadas y el aporte técnico durante el proyecto.

A todos los que hicieron posible que el proyecto surja de manera exitosa.

David Driulini T. y Javier Verdezoto P.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN	xix
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. OBJETIVOS	4
1.4. ALCANCE	5
1.5. JUSTIFICACIÓN	6

CAPÍTULO 2.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. ENERGÍA, TRANSFERENCIA Y ANÁLISIS GENERAL.....	8
2.2. ANÁLISIS DE LA ENERGÍA EN SISTEMAS CERRADOS.....	11
2.3. TRANSFERENCIA DE CALOR.....	15
2.4. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA COMBUSTIÓN.....	17
2.5. TIPOS DE COMBUSTIBLES.....	19
2.6. INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO.....	22
2.7. FUNDAMENTOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	28
2.8. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	31
CAPÍTULO 3.....	34
ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO.....	34
3.1. DEFINICIÓN DE LA UNIDAD DE COMBUSTIÓN CONTINÚA.....	34
3.2. COMPONENTES GENERALES DE LA UNIDAD.....	37
3.3. FUNCIONALIDAD DE LA UNIDAD DE COMBUSTIÓN CONTINUA Y OPERACIÓN.....	39
3.4. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN.....	41
3.5. SISTEMAS GENERALES.....	43
3.6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO.....	43
3.7. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS CRÍTICOS.....	46
CAPÍTULO 4.....	53
RECUPERACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL EQUIPO.....	53

4.1.	RECUPERACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN.....	53
4.2.	RECUPERACIÓN DE SISTEMAS GENERALES.....	66
4.3.	PUESTA EN OPERACIÓN.....	67
4.4.	CALIBRACIÓN Y PUESTA A PUNTO.....	67
CAPÍTULO 5.....		71
MODERNIZACIÓN.....		71
5.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO REPOTENCIADO.....	71
5.2.	DEFINICIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS.....	72
5.3.	INSTRUMENTACIÓN.....	75
5.4.	DISEÑO BÁSICO Y DE DETALLE.....	80
5.5.	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO.....	81
5.6.	DISEÑO DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS.....	89
5.7.	CONSTRUCCIÓN.....	93
5.8.	PROCEDIMIENTOS BÁSICOS PARA EL MONTAJE.....	97
5.9.	PRUEBAS.....	101
CAPÍTULO 6.....		103
ADQUISICIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS.....		103
6.1.	EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS.....	103
6.2.	ACOPIO Y VALIDACIÓN DE DATOS.....	105
6.3.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y CALIBRACIÓN.....	106
6.4.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	110
6.5.	ELABORACIÓN DE PRÁCTICAS.....	122
6.6.	VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	130

CAPÍTULO 7.....	134
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	134
7.1. COSTOS DIRECTOS.....	134
7.2. COSTOS INDIRECTOS.....	138
7.3. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	139
7.4. ANÁLISIS FINANCIERO.....	142
7.5. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.....	144
CAPÍTULO 8.....	145
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	145
8.1. CONCLUSIONES.....	145
8.2. RECOMENDACIONES.....	147
8.3. BIBLIOGRAFÍA.....	148

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Equilibrio Térmico.....	11
Ecuación 2 Balance de Energía.....	11
Ecuación 3 Balance de Energía Simplificado	11
Ecuación 4 Balance de Energía para un sistema cerrado	12
Ecuación 5 Ecuación general de balance de energía	13
Ecuación 6 Ecuación simplificada de balance de energía	13
Ecuación 7 Energía Inicial del Sistema	14
Ecuación 8 Energía Final del sistema.....	14
Ecuación 9 Energía transferida.....	14
Ecuación 10 Energía Transferida en Estado	14
Ecuación 11 Balance de Energía Transferida.....	14
Ecuación 12 Básica de la primera ley de termodinámica.....	15
Ecuación 13 Envejecimiento de máquinas	23
Ecuación 14 Índice de piezas aptas.....	50
Ecuación 15 Índice de restauración	51
Ecuación 16 Índice de piezas desechables	51
Ecuación 17 Linealización sensor de aire.....	107
Ecuación 18 Linealización sensor de agua.....	108
Ecuación 19 Linealización sensor de gas	109
Ecuación 20 Balance de Energía total.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modos de transferencia calor: conducción, convección y radiación. ..	16
Figura 2 Clasificación de combustibles.....	20
Figura 3 Clasificación de combustibles por grado de preparación.....	20
Figura 4 Clasificación de combustibles por estado de agregación	21
Figura 5 Clasificación de combustibles solidos.....	21
Figura 6 Grafica de la bañera	24
Figura 7 Sistemas de mantenimiento.....	25
Figura 8 Señal analógica	29
Figura 9 Esquema de acondicionamiento de señales.....	30
Figura 10 Unidad de combustión Hilton	34
Figura 11 Sistema de refrigeración unidad de combustión	35
Figura 12 Rotámetro línea de alimentación de agua	36
Figura 13 Mirillas de observación	37
Figura 14 Esquema de partes unidad de combustión continua	39
Figura 15 Sistema de alimentación de aire.....	41
Figura 16 Mantenimiento línea de alimentación de combustible	55
Figura 17 Desmontaje medidor de caudal	56
Figura 18 Desmontaje válvulas solenoides.....	57
Figura 19 Sistema eléctrico	60
Figura 20 Válvula de paso de aire	61
Figura 21 Alimentación de agua hacia el rotámetro.....	63
Figura 22 Uso y aplicación de la masilla metálica.....	65

Figura 23 Detalle de las conexiones sistema eléctrico/electrónico	82
Figura 24 Detalle parte 1 A	84
Figura 25 Detalle parte 1 B	84
Figura 26 Detalle parte 1 C	85
Figura 27 Detalle parte 2 A	85
Figura 28 Detalle parte 2 B	86
Figura 29 Detalle parte 2 C	86
Figura 30 Detalle parte 2 D	87
Figura 31 Detalle parte 3 A	87
Figura 32 Detalle parte 4 A	88
Figura 33 Detalle parte 4 B	88
Figura 34 Detalle parte 4 C	89
Figura 35 Adquisición de Datos /Entradas	90
Figura 36 Adquisición de datos /Adaptación de señales.....	91
Figura 37 Esquema de funcionamiento de procesamiento de datos	92
Figura 38 Captura de código de programación y programa.....	93
Figura 39 Compilación de programa en microcontrolador	96
Figura 40 Construcción tarjeta electrónica.....	96
Figura 41 Conexión tarjeta electrónica con pantalla LED	97
Figura 40 Adaptaciones varias.....	98
Figura 41 Adaptaciones alimentación de agua	98
Figura 42 Descripción grafica de posición para sensor de caudal	100
Figura 45 Ubicación pantalla LED.....	101
Figura 43 Cromatógrafo de Gases testo 250 xl	103

Figura 44 Toma de muestras de Gases en la unidad	104
Figura 45 Cámara Termografica fluke Ti23	104
Figura 46 Imagen Termo gráfica de la unidad de combustión	105
Figura 47 Unidad de combustión Repotenciada	110
Figura 48 Mantenimiento Cámara de Observación y Mirillas.....	116
Figura 49 Mantenimiento Pulmón Regulador de Presión.....	119
Figura 50 Mantenimiento de válvulas solenoides	120
Figura 51 Mantenimiento conexiones eléctricas	121
Figura 52 Perdidas de calor.....	130
Figura 53 Perdidas Restantes.....	130
Figura 54 Pérdidas de calor datos analógicos	131
Figura 55 Pérdidas de calor digitales.....	132

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Defectación Alimentación de Combustible Líquido	47
Tabla 2 Defectación Alimentación de Combustible Gaseoso	48
Tabla 3 Defectación Refrigeración de Agua	49
Tabla 4 Defectación Alimentación de Aire	49
Tabla 5 Matriz total de piezas Defectadas de los Sistemas Principales	50
Tabla 6 Matriz piezas restauradas Alimentación de Combustible Gaseoso.	58
Tabla 7 Matriz piezas restauradas alimentación de combustible líquido.	59
Tabla 8 Matriz de piezas restauradas en el Sistema de Alimentación de Aire..	62
Tabla 9 Matriz piezas restauradas en el Sistema de Refrigeración de Agua	64
Tabla 10 Productos de relleno.	64
Tabla 11 Ficha técnica producto sellador Permatex	65
Tabla 12 Calibración y puesta a punto.....	69
Tabla 13 Toma de datos analógicos operador 1	69
Tabla 14 Toma de datos analógicos operador 2.....	70
Tabla 15 Características termocupla tipo k alimentación de aire	78
Tabla 16 Características Sensor de Caudal 0.8-6 alimentación de aire	78
Tabla 17 Características Sensor de Caudal 1-80 alimentación de agua	78
Tabla 18 Características termocupla línea de alimentación de agua.....	79
Tabla 19 Características sensor de presión MPX4115	79
Tabla 20 Características sensor de caudal 1-80 alimentación de gas	79
Tabla 21 Detalle componentes y referencias sistema eléctrico/electrónico	83
Tabla 23 Detalles de construcción de tarjeta electrónica	94

Tabla 24 Componentes del sistema electrónico	94
Tabla 25 Detalle de accesorios y elementos para adaptaciones.	99
Tabla 26 Pruebas con el sistema electrónico en marcha.....	102
Tabla 27 Promedio de datos con Sistema analógico	106
Tabla 28 Promedio de datos con sistema electrónico.....	106
Tabla 29 Errores porcentuales de toma de datos	106
Tabla 30 Calibración sensor de aire	107
Tabla 31 Calibración sensor de agua	108
Tabla 32 Calibración sensor de gas.....	109
Tabla 33 Tabla de diagnóstico de mantenimiento.....	114
Tabla 34 Variables práctica	124
Tabla 35 Temperaturas de ignición de combustibles	124
Tabla 36 Condiciones de trabajo	124
Tabla 37 Masas de gas, aire y agua	125
Tabla 38 Pesos Atómicos por componente	125
Tabla 39 Pesos por componente	125
Tabla 40 Moles y Masa totales en la experiencia	125
Tabla 41 Cp de componentes de gases	126
Tabla 42 Tabla de cálculos de masas.....	126
Tabla 43 Cálculos	129
Tabla 44 Validación datos análogos	131
Tabla 45 Validación datos digitales.....	132
Tabla 46 Costo de Materiales	134
Tabla 47 Costos de instrumentación.....	137

Tabla 48 Costos de mano de obra.....	138
Tabla 49 Costos indirectos	139
Tabla 50 Materias Relacionadas.....	140
Tabla 51 Cursos por materia.....	140
Tabla 52 Resumen costos	143
Tabla 53 Análisis financiero	143
Tabla 54 Costo Beneficio	144

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A HOJA DE DATOS SENSOR FS300A CAUDAL AGUA Y GAS. ¡Error!

Marcador no definido.

ANEXO B HOJA DE DATOS SENSOR DE CAUDAL DE AIRE ¡Error! Marcador

no definido.

ANEXO C HOJA DE DATOS TERMOCUPLAS... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO D HOJA DE DATOS PANTALLA LED.... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO E HOJA DE DATOS SENSOR DE PRESION MPX10 ¡Error! Marcador

no definido.

ANEXO F HOJA DE DATOS MASILLA METALICA ¡Error! Marcador no

definido.

ANEXO G HOJA DE DATOS PERMATEX..... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO H IMÁGENES TERMOGRÁFICAS EN FUNCIONAMIENTO ¡Error!

Marcador no definido.

ANEXO I TOMA DE DATOS CON CROMATOGRAFO DE GASES..... ¡Error!

Marcador no definido.

ANEXO J ESQUEMAS UNIDAD REPOTENCIADA ¡Error! Marcador no

definido.

ANEXO K ANTES Y DESPUÉS UNIDAD DE COMBUSTIÓN.. ¡Error! Marcador

no definido.

ANEXO L ESQUEMAS E IMÁGENES PANTALLA LED..... ¡Error! Marcador no

definido.

ANEXO M DIAGRAMA ELÉCTRICO..... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO N CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

El estudio de la combustión es un área indispensable para el desarrollo de un ingeniero mecánico, por esto la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE tomando en cuenta las exigencias de un mundo cada vez más competitivo se vio en la necesidad de recuperar y mejorar equipos que se han venido utilizando en sus laboratorios, en este caso repotenciando la unidad de combustión HILTON. Se realizó una defectación total de la unidad para conocer su estado inicial y para su posterior recuperación. La recuperación de la unidad se la realizó mediante acciones de mantenimiento, además, los sistemas utilizados durante muchos años se han venido deteriorando por esto se los intervino para poder digitalizar la adquisición de datos y con esto optimizar el funcionamiento de la unidad. Gracias a esto se pudo mejorar un 20% los análisis térmicos realizados y se facilitó la adquisición de datos por parte del operador. Además tomando en cuenta la importancia del equipo se realizaron manuales que van a garantizar la vida útil y su buen funcionamiento durante sus horas de práctica. Mediante una pequeña reinversión el proyecto va a representar un beneficio para la institución tomando en cuenta su funcionalidad.

Palabras Clave

- Combustión.
- Defectación.
- Mantenimiento.
- Adquisición.
- Digitales.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

A pesar de la aportación de la energía nuclear, hidráulica, solar, eólica y otras fuentes de energía renovables, la inmensa mayoría de la energía procede de la combustión de hidrocarburos.

Estos combustibles son, por lo general, finitos en cantidad, por lo que es indispensable que se usen de forma eficiente y económica a fin de conservar los recursos y reducir la polución. Toda persona cuya actividad esté relacionada, de un modo u otro, con el consumo de energía debe poseer un sólido conocimiento de los factores que afectan a una combustión eficiente.

Es por esto que la Escuela Politécnica del Ejército hace 39 años vio la necesidad de adquirir una Unidad de este tipo, que ayude al estudio práctico de los conocimientos teóricos adquiridos en el área de energías.

La gama de Aplicaciones de la Unidad de Combustión Continua Hilton es muy amplia. Desde demostraciones sencillas para operadores de caldera hasta programas de investigación y desarrollo a gran escala.

La mayoría de los experimentos pueden dividirse en dos grupos; combustión con Transferencia de Calor y Balances tanto como Térmico y Energético.

Las unidades o bancos de prueba son una plataforma para la experimentación, siendo equipos industriales que permiten realizar

evaluaciones previas y mediciones de distintas variables, pueden estar automatizados o ser manuales con señales analógicas. El objetivo primordial de dichos bancos es complementar el conocimiento práctico adquirido con el conocimiento teórico.

Los equipos del Departamento cuentan con más de 25 años de existencia por lo cual se ven en la necesidad de ser modernizados para que el aprendizaje vaya de la mano con el avance tecnológico y globalizado que tenemos hoy en día.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En los Laboratorios del Departamento se cuenta con equipos con algunos años de vida por lo cual su estado y funcionamiento se han ido deteriorando con el paso del tiempo.

Así como también se tiene equipos que han sido subutilizados por la falta de estudios sobre los mismos.

La ciencia y la tecnología avanzan su perfeccionamiento en forma acelerada y la tendencia actual en los sistemas y procesos industriales es la renovación y modernización de sus equipos.

Se tiene conocimiento que la Unidad de Combustión Continua fue adquirida en la década de los 80s aproximadamente en el año de 1981, su objetivo

principal fue realizar prácticas de combustión en la cátedra de termodinámica objetivo que nunca fue cumplido.

Cuando la Unidad fue trasladada al campus actual de la Escuela Politécnica en Sangolquí 1992, se sabe con certeza que el equipo no ha sido utilizado para ningún tipo de prácticas, esta referencia según catedráticos y laboratoristas actuales de los laboratorios del DECEM.

Por tal motivo la maquina no ha sido explotada y cuenta al momento aproximadamente con un 90% de vida útil remanente, (el equipo no tiene más de 100 horas de uso en estos 32 años aproximadamente).

Durante estos últimos 5 años el equipo no ha sido puesto en funcionamiento, por lo que los daños ocultos por falta de mantenimiento están por determinarse.

En el mes de febrero del 2013 realizamos la verificación de operabilidad del sistema y se encontró que el equipo se encuentra con ciertos problemas en los sistemas de alimentación que impiden el funcionamiento.

El sistema de adquisición de datos es analógico, lo que en la actualidad le transforma en una maquina tecnológicamente obsoleta, ya que todos los sistemas son digitales. Teniendo en cuenta que los outputs son analógicos no se tiene una apreciación precisa de los datos necesarios para la realización de prácticas.

Además siendo un sistema totalmente analógico los resultados que obtenemos del mismo son dependientes de la apreciación del operador, lo que genera resultados variables de operador a operador.

Por otro lado, los estudiantes de ingeniería mecánica en su etapa de formación requieren adquirir conocimientos actualizados de las nuevas tecnologías, para estar acorde con el perfil profesional ofertado por la Escuela Politécnica del Ejército.

Estos antecedentes hacen necesario poner en funcionamiento, realizar los mantenimientos correctivos y la repotenciación de la Unidad de Combustión Continua acorde a las tendencias actuales, para la formación integral del ingeniero mecánico dentro del área de energías y transferencia de calor.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Habilitar el funcionamiento y automatizar el sistema de adquisición de datos mediante una interfaz HMI de la Unidad de combustión continua para su uso en los laboratorios del DECEM y de mas laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual del Equipo.
- Rehabilitar el funcionamiento y operación de la Unidad de Combustión Continua.
- Realizar Mantenimiento Correctivo en los niveles de primero y segundo Escalón para los elementos, sistemas y subconjuntos de la Unidad.
- Calibrar y poner a punto el funcionamiento de acuerdo a los estándares del manual de operación.
- Repotenciar la Unidad mediante una interfaz HMI que facilite la adquisición de datos del usuario.
- Validar los resultados del sistema repotenciado con una práctica piloto.
- Realizar manuales de operación y mantenimiento.
- Analizar los costos del proyecto y su financiamiento

1.4. ALCANCE

Al culminar el presente proyecto se validará los resultados de la Unidad de combustión continua repotenciada con lo cual se podrán medir parámetros operacionales, para su posterior desarrollo de prácticas en esta unidad.

Se contará con un manual de operación y de mantenimiento para garantizar la vida útil del equipo.

Además la Unidad dispondrá de una interfaz HMI la cual será más amigable para la adquisición de datos del operador.

1.5. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto arroja los siguientes resultados positivos para la Escuela Politécnica del Ejército:

Desde el punto de vista de sostenibilidad

Es de suma importancia ya que el funcionamiento de la máquina se podrá dar uso y reflejará en conocimiento la inversión realizada por la ESPE hace 32 años.

Desde el punto de vista económico

Con un pequeño capital de reinversión se pondrá a punto la unidad.

Desde el punto de vista tecnológico

Al repotenciar la unidad se obtendrá un equipo totalmente funcional y operacional para futuras generaciones con un largo período de vida útil y manuales de mantenimiento que aseguren su estado y sostenibilidad.

Desde el punto de vista científico:

Para el desarrollo del conocimiento teórico - práctico de los estudiantes del Departamento ya que los conceptos de Balance Térmico y Energético, Transferencia de Calor y Combustión están claramente involucrados en esta Unidad.

Desde el punto de vista social:

Beneficiará aproximadamente a 230 estudiantes de las diferentes cátedras impartidas en la malla curricular de la Carrera de Ingeniería Mecánica y otros.

Desde el punto ambiental:

Consecuentemente al tener un sistema modernizado el control de suministro de combustibles y aire serán optimizados, evitando los gastos innecesarios que afectan el medioambiente.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. ENERGÍA, TRANSFERENCIA Y ANÁLISIS GENERAL.

Cuando hablamos de energía debemos tener en cuenta que está ligada al concepto básico del principio de conservación de la misma dado por la primera ley de la termodinámica que nos dice que la energía no se crea ni se destruye simplemente se transforma.

La energía se define como la capacidad que tienen los cuerpos para poder realizar cambios en sí mismos o en otros cuerpos.

Cuando decimos que un objeto tiene energía, queremos dar a entender que este es capaz de ejercer una fuerza sobre otro objeto para realizar un cambio o viceversa.

Teniendo estos conceptos básicos claros tenemos que conocer los diferentes tipos de energía que existen y con cuales vamos a trabajar durante este proyecto.

Según los tipos de energía, uno de los principales puntos a tener en cuenta es que dependemos en gran medida de la energía, ya que esta nos ayuda a vivir de una forma productiva.

Es importante saber que todo lo que requiere movimiento requiere de algún tipo de energía.

Los diferentes tipos de energías que vamos a utilizar durante nuestro proyecto son:

- Energía eléctrica
- Energía mecánica
- Energía térmica

Energía Eléctrica.

La energía eléctrica es la energía resultante de una diferencia de potencial entre dos puntos que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos.

Energía Mecánica.

La energía mecánica se debe a la posición y movimiento de un cuerpo, es la suma de la energía potencial, cinética y energía elástica que un cuerpo posee.

Energía Térmica.

La energía térmica es la fuerza que se libera en forma de calor, puede obtenerse mediante la naturaleza y también del sol mediante una reacción exotérmica como podría ser la combustión, reacciones nucleares, mediante la energía eléctrica por el efecto denominado Joule o por último como residuo de otros procesos químicos o mecánicos.

Transferencia de energía

Como concepto general podemos decir que el calor y la transferencia de energía por calor están definidos como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas debido a una diferencia de temperaturas.

La energía puede cruzar las fronteras de varias formas por medio de calor, de trabajo o de un flujo másico.

Si la energía que cruza la frontera de un sistema es de un origen distinto al calor, es decir, a una diferencia de temperaturas, esta debe ser trabajo.

El trabajo es la transferencia de energía relacionada con una fuerza que actúa a lo largo de una distancia, como por ejemplo un eje rotatorio o un pistón lineal.

Análisis general de la energía.

Dentro del análisis general tenemos que hablar sobre la naturaleza de la energía que estamos utilizando y el tipo de transferencia que tenemos.

Para los diferentes sistemas se hace un análisis general basado en un balance de equilibrio térmico y un balance energético que nos va a detallar el estado del sistema detalladamente.

Teniendo en cuenta las diferentes formas para la transferencia de calor podemos hacer un análisis general del sistema dado por:

$$E_{entrada} - E_{salida} = Q_{entrada} - Q_{salida} + W_{entrada} - W_{salida} + (E_{masaentrada} - E_{masasalida})$$

Ecuación 1 Equilibrio Térmico

2.2. ANÁLISIS DE LA ENERGÍA EN SISTEMAS CERRADOS

Se dice que un sistema es abierto o cerrado dependiendo que exista o no transferencia de masa a través de la frontera del sistema durante el período de tiempo en que ocurre el balance de energía.

Para un sistema cerrado que experimenta un ciclo su balance neto es 0 por lo tanto sus estados inicial y final son idénticos.

$$\Delta E_{sistema} = E_2 - E_1 = 0$$

Ecuación 2 Balance de Energía

Entonces, el balance de energía para un ciclo se simplifica a

$$E_{entrada} - E_{salida} = 0$$

Ecuación 3 Balance de Energía Simplificado

Al observar que un sistema cerrado no tiene que ver con ningún flujo másico que cruce sus fronteras, el balance de energía para un ciclo se puede expresar en términos de interacciones de calor y trabajo (Cengel, 2002).

$$W_{neto,salida} = Q_{neta,entrada}$$

Ecuación 4 Balance de Energía para un sistema cerrado

2.2.1. BALANCE TÉRMICO

El equilibrio térmico es el estado en que se igualan las temperaturas de dos cuerpos de los que en condiciones iniciales poseían diferentes temperaturas.

Al estar los dos cuerpos en contacto, el cuerpo de alta temperatura transfiere calor al de baja hasta alcanzar los 2 la misma temperatura.

Al igualarse las temperaturas se suspende el flujo de calor, teniendo como resultado un sistema a base de estos dos cuerpos en equilibrio térmico.

2.2.2. Balance Energético

Balance de energía es el cómputo exacto de todas las energías que entran, salen y se almacenan en un sistema o proceso.

La ecuación general del balance de energía se expresa:

$$\begin{array}{l}
 \text{Acumulación} \\
 \text{de energía} \\
 \text{dentro del} \\
 \text{sistema}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{l}
 \text{Trasnferencia} \\
 \text{de energía hacia} \\
 \text{el sistema por el} \\
 \text{límite del mismo}
 \end{array}
 -
 \begin{array}{l}
 \text{Transferencia} \\
 \text{de energía del} \\
 \text{sistema por el} \\
 \text{límite del mismo}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 \text{Generación} \\
 \text{de energía} \\
 \text{dentro del} \\
 \text{sistema}
 \end{array}
 -
 \begin{array}{l}
 \text{Consumo} \\
 \text{de energía} \\
 \text{dentro del} \\
 \text{sistema}
 \end{array}$$

Ecuación 5 Ecuación general de balance de energía

En la ecuación se pueden introducir algunas simplificaciones:

- No hay acumulación de energía dentro del sistema
- No hay generación de energía dentro del sistema
- No se consume energía dentro del sistema

Reduciendo la ecuación a:

Transferencia de energías a través de la frontera del sistema =

Transferencia de energía de la frontera del sistema

Ecuación 6 Ecuación simplificada de balance de energía

Balances de energía para sistemas cerrados

Por definición un proceso intermitente es un proceso cerrado y los procesos semi-intermitentes y continuos son sistemas abiertos.

Una ecuación integral de balance de energía puede desarrollarse para un sistema cerrado entre dos instantes de tiempo.

Energía final del sistema – energía inicial del sistema = energía neta transferida

Energía inicial del sistema = $U_i + E_{ci} + E_{pi}$

Ecuación 7 Energía Inicial del Sistema

Energía final del sistema = $U_f + E_{cf} + E_{pf}$

Ecuación 8 Energía Final del sistema

U = energía interna

E_c = energía cinética

E_p = energía potencial

Energía transferida (ΔE) = $Q + W$

$\Delta E = E_{t_2} - E_{t_1}$

Ecuación 9 Energía transferida

Los subíndices i y f se refieren a los estados inicial y final respectivamente

$(U_f - U_i) + (E_{cf} - E_{ci}) + (E_{pf} - E_{pi}) = Q + W$

Ecuación 10 Energía Transferida en Estado

Si utilizamos el símbolo Δ para indicar diferencia se tiene:

$\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q + W$

Ecuación 11 Balance de Energía Transferida

Luego,

$$\Delta E = Q + W$$

Ecuación 12 Básica de la primera ley de termodinámica

Donde ΔE representa la acumulación de energía en el sistema asociada a la masa y está compuesta por: energía interna (U), energía cinética y energía potencial (P).

La energía transportada a través de la frontera del sistema puede transferirse de dos modos: como calor (Q) y/o trabajo (W)

Q y W representan la transferencia neta de calor y trabajo, respectivamente, entre el sistema y su entorno.

$$\text{Si } \Delta E = 0; Q = -W$$

Esta ecuación es la forma básica de la primera ley de la termodinámica.

2.3. TRANSFERENCIA DE CALOR

Transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas (Frank P. Incropera, 1999).

Siempre que existe un diferencial de temperaturas entre los cuerpos, se produce una transferencia de calor.

Se mencionó que la energía se puede transferir mediante las interacciones de un sistema con su alrededor.

Estas interacciones se denominan trabajo y calor, sin embargo aquí se trata los estados finales del proceso durante el cual ocurre una interacción y no se proporcionó información sobre la naturaleza de la interacción o la rapidez con la que esta se da.

Se amplía el análisis a través de un estudio de los modos de transferencia de calor, lo cual es de suma importancia para los estudios que se realizan en el equipo a repotenciar.

Los modos de transferencia de calor son:

- Transferencia de calor por Conducción
- Transferencia de calor por Convección
- Transferencia de calor por Radiación



Figura 1 Modos de transferencia calor: conducción, convección y radiación.

Fuente: (Frank P. Incropera, 1999)

2.4. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA COMBUSTIÓN

La combustión es un proceso de oxidación rápida de una sustancia, acompañado de un aumento de calor y frecuentemente de luz.

Así mismo otra definición de Combustión consiste en la transformación en calor de la energía almacenada en los enlaces químicos de ciertas sustancias químicas, durante un proceso de oxidación.

Los enlaces moleculares débiles se rompen y por este proceso son reemplazados por enlaces más fuertes. Liberando de esta forma energía.

Todo el proceso de combustión implica la presencia de varios componentes como:

- Combustible
- Oxidante
- Entorno
- Proceso de Encendido
- Catalizadores

El proceso de combustión es:

- Una reacción química exotérmica
- Una reacción auto sustentada con liberación de calor y luminosidad

2.4.1. TIPOS DE COMBUSTIÓN

Los tipos de combustión los podemos dividir en:

Combustión completa: ocurre cuando las sustancias combustibles reaccionan hasta el máximo grado posible de oxidación

Combustión incompleta: a diferencia de la combustión completa se produce cuando no se alcanza el grado máximo de oxidación y existe presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de la reacción.

Combustión teórica: Es la combustión que se lleva a cabo con la cantidad mínima de aire para que no existan sustancias combustibles en los gases de reacción. En esta reacción el oxígeno es completamente utilizado en la reacción.

Combustión con exceso de aire: Es la reacción que se produce con una cantidad de aire superior al mínimo necesario. En este tipo de combustión es típica la presencia de oxígeno en los gases de combustión y no produce sustancias combustibles en los gases de reacción.

Combustión con defecto de aire: Es la reacción que se produce con una menor cantidad de aire que el mínimo necesario. En este tipo de reacción es característica la presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de reacción.

2.4.2. CÁMARAS DE COMBUSTIÓN

La cámara de combustión es el lugar donde se realiza la combustión del combustible (sea combustible en cualquiera de sus estados) con el comburente (generalmente se utiliza aire).

La cámara de combustión recibe el aire comprimido proveniente del compresor y lo envía a una elevada temperatura. En el caso de nuestra cámara el combustible es inyectado directamente junto con el comburente. De esta forma, la cámara de combustión es un calentador de aire donde se produce la mezcla del combustible con el aire, con la cantidad de aire que se requiera para un caso en específico. Existen varios tipos de cámaras de combustión, pero en general pueden agruparse en tres categorías: las anulares, las tubo anulares y las tipo silo.

2.5. TIPOS DE COMBUSTIBLES

Los combustibles se pueden clasificar según su origen, grado de preparación, estado de agregación.

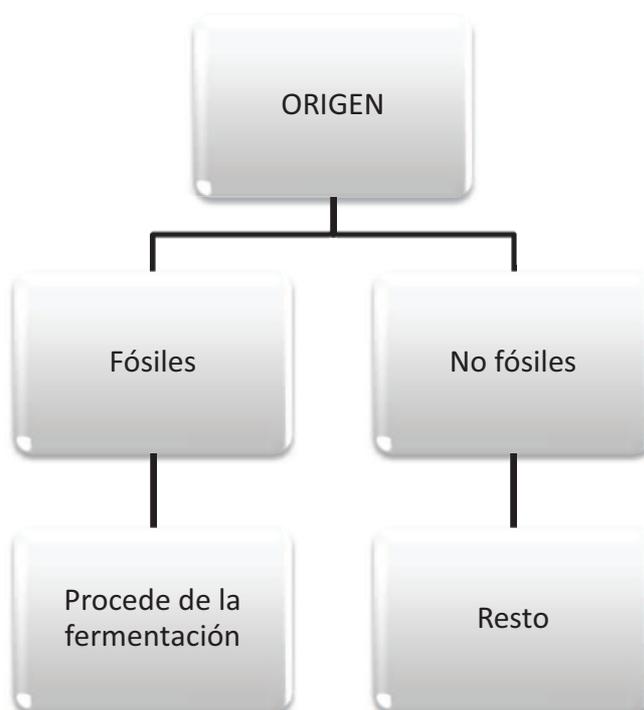


Figura 2 Clasificación de combustibles



Figura 3 Clasificación de combustibles por grado de preparación



Figura 4 Clasificación de combustibles por estado de agregación

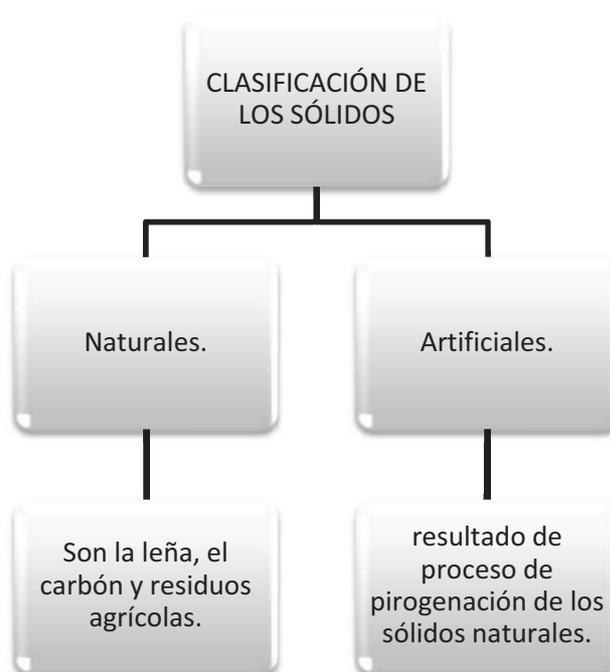


Figura 5 Clasificación de combustibles sólidos

2.6. INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO

Ingeniería en Mantenimiento está definida como el conjunto de operaciones para que un equipamiento reúna las condiciones necesarias para cumplir el propósito para el que fue construido.

Dicho concepto en el cual un ingeniero mecánico o personal calificado debe realizar varios tipos de actividades como mediciones, comprobaciones, ajustes, reemplazos, reparaciones que sean necesarios para mantener o restaurar la unidad, equipo o maquinaria de forma que esta pueda cumplir sus funciones.

2.6.1. TEORÍA DEL ENVEJECIMIENTO DE LAS MAQUINAS

La teoría de las máquinas es una ciencia que estudia la mecánica de las mismas en relación mutua con los procesos de trabajo que estas cumplen.

Desarrollando y perfeccionando la Teoría de Envejecimiento de las máquinas podemos controlar el proceso de envejecimiento de las mismas y ejercer influencia, directa o indirecta, sobre su perfeccionamiento.

Problemas Fundamentales

- Teoría de los procesos de trabajo, que el equipo o maquinaria va a cumplir en el periodo de funcionamiento.
- Mecánica de las máquinas
 - a) Cinemática.
 - b) Dinámica.

c) Acción automática

- Teoría de la construcción de las máquinas
- Métodos de ensayo de las máquinas
- Metodología de elaboración de los datos experimentales

a) Cálculo del desgaste y envejecimiento de la máquina.

b) Comodidad del mantenimiento técnico, reparación y condiciones de servicio.

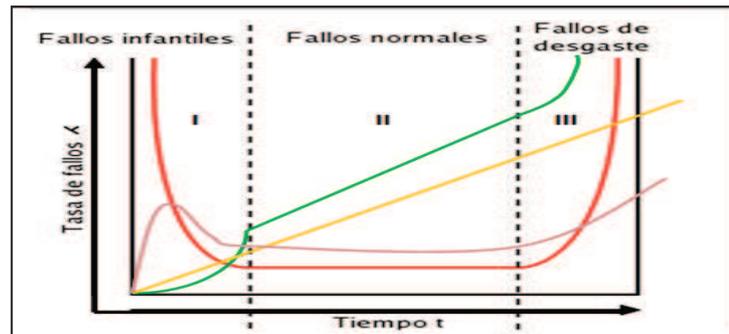
El Envejecimiento de las maquinas está dado por los plazos de servicio de dicha máquina, por lo que esto se define en la sumatoria del Envejecimiento de elementos constructivos y del Envejecimiento de los elementos no constructivos.

$$Em = \sum_{i=1}^x Ei + \sum_{j=1}^z Gj$$

Ei = Envejecimiento de los elementos constructivos

Gj = Envejecimiento de los elementos no constructivos

Ecuación 13 Envejecimiento de máquinas



	Tasa de Fallos vs Tiempo
	Desgaste por fricción vs Tiempo
	Desgaste por fricción vs Tiempo
	Desgaste por fricción vs Tiempo

Figura 6 Grafica de la bañera

Fuente: Diapositivas Cátedra Ingeniería en Mantenimiento: IM 1.1

ENVEJECIMIENTO D ELA MAQUINARIA

2.6.2. SISTEMAS DE MANTENIMIENTO

El sistema de mantenimiento está regido en dos grandes ramas:

- **Mantenimiento Planeado.-** Este tipo de mantenimiento es el que mediante planeación de programas predictivos, preventivos y correctivos soluciona los diferentes fallos que pueden darse lugar en los equipos y maquinarias.

- **Mantenimiento no Planeado.**- Como su nombre lo indica este tipo de mantenimiento no lo rige un cronograma ni tiempo estipulado, sino por el contrario se da en un intervalo de tiempo indefinido, en el evento de falla o avería debe ser atendido inmediatamente para restituir la capacidad de trabajo en el menor tiempo posible de dicho equipo o maquinaria.

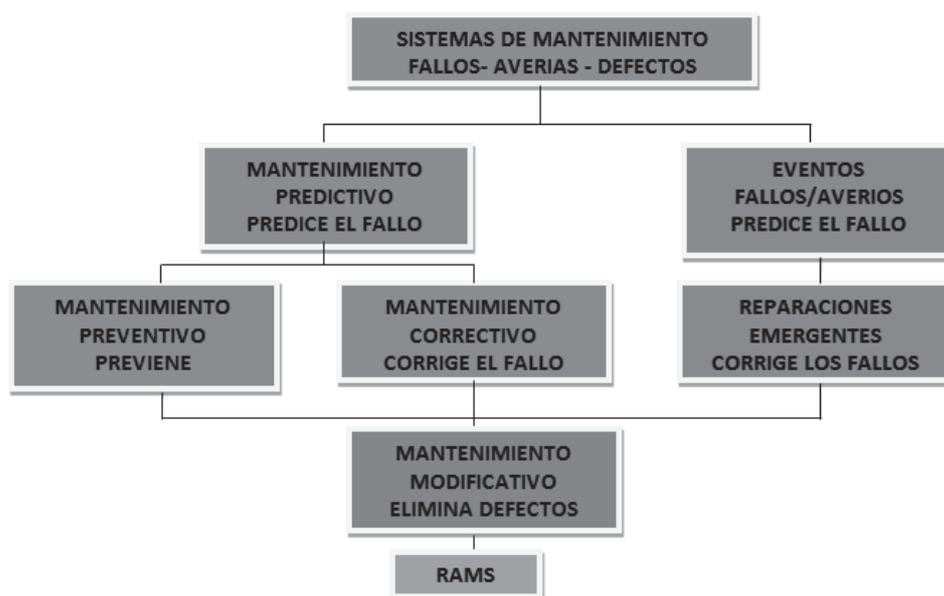


Figura 7 Sistemas de mantenimiento

Fuente: Diapositivas Cátedra Ingeniería en Mantenimiento: IM 2.1 SISTEMAS DE INGENIERIA EN MANTENIMIENTO

2.6.2.1. Mantenimiento Preventivo

Este tipo de mantenimiento concibe la realización de las intervenciones con carácter profiláctico y periódico, según una programación con el objetivo de prevenir y disminuir la cantidad de fallos aleatorios.

Hay que tomar en cuenta que:

- No obstante, estos no se eliminarán totalmente, Con el accionar preventivo, se generan nuevos costos, pero se reducen estos mismos en los costos de reparación, pero de esta manera se disminuyen las causas en cuanto a complejidad y cantidad.
- Requiere de personal calificado con un nivel técnico mayor que para el correctivo, para ejecutar de esta manera las acciones que justifiquen el planeamiento y su realización.

Acciones de Mantenimiento Preventivo.

- Limpieza
- Ajustes
- Chequeo
- Reaprietes
- Regulaciones
- Lubricación y engrase
- Cambio de elementos

2.6.2.2. Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo está basado en las inspecciones sistemáticas asistidas por computadora, sin afectar el funcionamiento y trabajo de las máquinas.

Hay que tomar en cuenta que:

- Lo que se programa son las Inspecciones Técnicas.
- Detecta el estado técnico de sistema y elementos.
- Indica el recurso remanente del sistema hasta llegar al estado límite.

Acciones del Mantenimiento Predictivo

- Inspecciones sistemáticas con registros para detectar oportunamente desgastes y roturas (Check List de la maquina).
- Monitoreo instrumental discreto y continuo.
- Diagnóstico del estado técnico del sistema.
- Indicación de la acción correctora o no, y gestión de repuestos.

2.6.2.3. Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo o de emergencia consiste en la intervención mediante una acción de reparación del fallo que se ha dado en la máquina u equipo. De esta manera se restituirá la capacidad de trabajo de dicha máquina o equipo.

Acciones del Mantenimiento Correctivo

- Limpieza y lubricación acorde a especificaciones y exigencias de los fabricantes de los elementos de máquinas.
- Ajustes, regulaciones y limpieza de los diferentes circuitos

Acciones de reparación

- Overhauls menor.- esta se realizan en base a pequeñas reparaciones, en el sitio de operación de la maquina o equipo, sin ningún desmontaje.
- Overhauls medio.- esta se realizan en base a medianas reparaciones, en los cuales ya se efectúa desmontajes parciales de partes o elementos.
- Overhauls mayor.- esta se realiza en base a reparaciones generales, en su totalidad, los elementos o partes serán desmontadas de la maquina o equipo para ser llevadas a taller para su reparación.

2.7. FUNDAMENTOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos o de señales, consiste en la toma de muestras de un sistema real (señal analógica) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otros componentes (señal digital). Tomamos un conjunto de señales físicas las convertimos en tensiones eléctricas y se las digitaliza de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es la tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

2.7.1. CLASIFICACIÓN DE SEÑALES

Las señales se clasifican en dos grandes grupos, en señales digitales y en señales analógicas.

Señales Analógicas

Las señales analógicas son señales que se dan por el efecto un fenómeno físico, en la naturaleza, el conjunto de señales que percibimos son analógicas, así la luz, el sonido, etc. son señales que tienen una variación continua.

Estas señales se representan por una onda sinodal en función del tiempo como lo podemos ver en la figura.

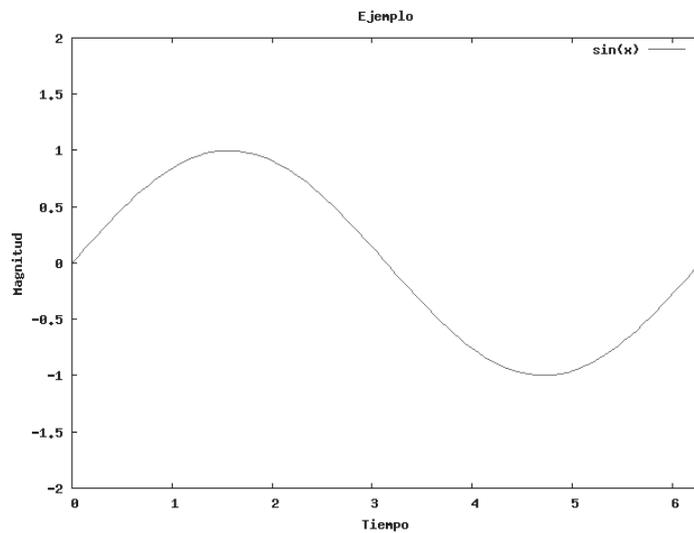


Figura 8 Señal analógica

Señales digitales

Las señales digitales, en contraste con las señales analógicas, no varían en forma continua, sino que cambian en pasos o en incrementos discretos. La mayoría de las señales digitales utilizan códigos binarios o de dos estados.

2.7.2. ACONDICIONAMIENTO DE LAS SEÑALES

El acondicionamiento de señal es la etapa encargada de filtrar y adaptar la señal proveniente de un transductor a la entrada del convertidor analógico / digital. Esta adaptación suele ser doble.

- Adaptar el rango de salida del transductor al rango de entrada del convertidor. (Normalmente en tensión).
- Acoplar la impedancia de salida de uno con la impedancia de entrada del otro.

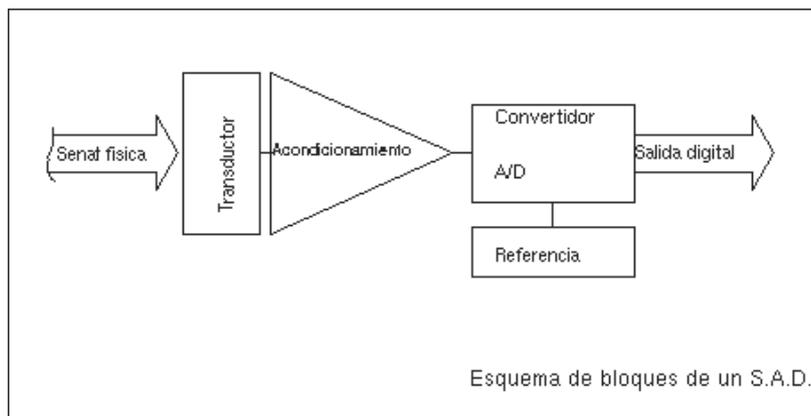


Figura 9 Esquema de acondicionamiento de señales

El transductor es un elemento que convierte la magnitud física que vamos a medir en una señal de salida (normalmente tensión o corriente) que puede ser procesada por nuestro sistema.

El convertidor analógico/digital es un sistema que presenta en su salida una señal digital a partir de una señal analógica de entrada, (normalmente de tensión) realizando las funciones de cuantificación y codificación.

2.8. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Automatización Industrial es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar y monitorear maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos o equipos de medición de tecnología antigua.

El concepto de automatización solamente llegó a ser realmente práctico con la evolución de las computadoras digitales, cuya flexibilidad permitió manejar cualquier clase de tarea. Las computadoras digitales con la combinación requerida de velocidad, poder de cómputo, precio y tamaño empezaron a aparecer en la década de 1960s.

Las interfaces Hombre-Máquina (HMI), son comúnmente empleadas para comunicarse con los controladores y otras computadoras, para labores tales como introducir y monitorear temperaturas o presiones para controles automáticos o respuesta a mensajes de alarma.

2.8.1. VENTAJAS DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

En general, la automatización industrial pretende incrementar la competitividad de la industria, esta involucra ciertas desventajas, las cuales habrá que pesar, junto con sus ventajas, a la hora de decidir si resulta conveniente embarcarse en un proceso de modernización.

La automatización de un proceso frente al control manual del mismo proceso, brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, social, y tecnológico, pudiéndose resaltar las siguientes:

- Se asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso
- Se obtiene una reducción de costos, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.
- Existe una reducción en los tiempos de procesamiento de información.
- Se obtiene un conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos del proceso.
- Se obtiene un mejor conocimiento del funcionamiento y performance de los equipos y máquinas que intervienen en el proceso.
- Aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.
- Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.

2.8.2. CONOCIMIENTOS BÁSICOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN

En concreto nuestro sistema funciona básicamente de la siguiente manera: Mediante la utilización de captadores o sensores (que son esencialmente instrumentos de medición, como termómetros o barómetros), se recibe la información sobre el funcionamiento de las variables que deben ser controladas (temperatura, presión, velocidad, espesor o cualquier otra que pueda cuantificarse), esta información se convierte en una señal, que es comparada por medio del sistema electrónico.

La automatización solo es viable si al evaluar los beneficios económicos y sociales de las mejoras que se podrían obtener al automatizar, estas son mayores a los costos de operación y mantenimiento del sistema.

CAPÍTULO 3

ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO

3.1. DEFINICIÓN DE LA UNIDAD DE COMBUSTIÓN CONTINÚA.

La unidad de combustión continua HILTON está formada por un recipiente cilíndrico de acero el cual aspira aire continuamente por medio de un sistema de alimentación adjunto al equipo, que por medio de un soplador de tres etapas envía la cantidad de aire requerida para la combustión.



Figura 10 Unidad de combustión Hilton

La combustión se lleva a cabo en el quemador cuando se produce la mezcla aire/combustible, los cuales llegan a este por circuitos independientes, el quemador posee una línea de alimentación por donde llega el combustible

pasando por reguladores de presión directamente desde los recipientes de almacenamiento. La unidad tiene la característica de quemar directamente el combustible dentro de la cámara con el propio flujo de aire que entra por medio del soplador.

La cámara también posee un sistema de refrigeración que consiste en una camisa envolvente por la cual entra agua a temperatura ambiente haciendo las funciones de un intercambiador de calor para evitar elevadas temperaturas las cuales son peligrosas tanto para los datos experimentales como para el equipo en sí.



Figura 11 Sistema de refrigeración unidad de combustión

El equipo consta de un sistema de drenaje que evita la recirculación del agua a elevadas temperaturas conectado al sistema de drenaje común para todos los equipos.

El flujo volumétrico tanto del aire, combustible y agua de refrigeración son controlados mediante medidores de caudal que son regulables mediante controladores manuales de esta manera podemos obtener datos experimentales para los diferentes tipos análisis que se requieran y para diferentes relaciones aire/combustible.



Figura 12 Rotámetro línea de alimentación de agua

La combustión continua que se realiza dentro de la cámara requiere únicamente de una chispa eléctrica para iniciar su proceso, la ignición es producida mediante una bujía de encendido o encendedor, después de lo cual la combustión es autosustentable debido a la entrada continua de aire y combustible.

La cámara también consta de orificios o ventanas de observación de diferentes diámetros en la que puede observarse la envolvente de la llama.

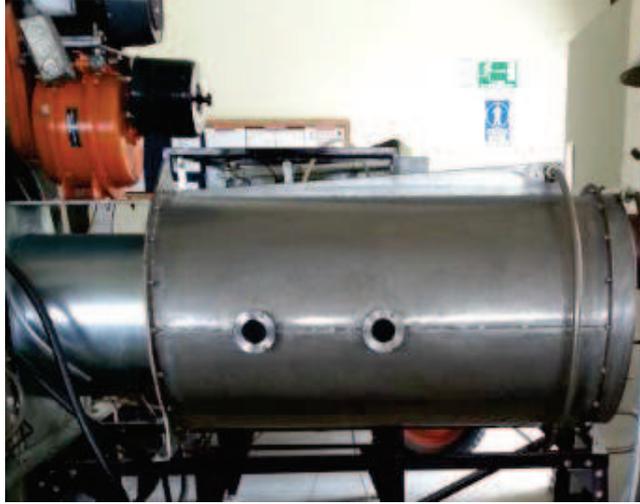


Figura 13 Mirillas de observación

Los gases producidos por la combustión son evacuados de la cámara a elevada temperatura por medio de un sistema de escape que consiste en una línea de exhaustación ubicada en la parte posterior del equipo.

3.2. COMPONENTES GENERALES DE LA UNIDAD.

3.2.1. PARTES DEL EQUIPO

El equipo consta de las siguientes partes:

- Entrada de refrigerante (H₂O).
- Indicador de temperatura entrada de agua.
- Válvula controladora del flujo másico de agua.
- Flujo volumétrico de refrigerante.
- Rotámetro para medir flujo másico de agua.

- Indicador de temperatura a la salida del agua de la cámara.
- Indicador de temperatura de los gases de escape.
- Indicador de temperatura del aire a la entrada de la cámara.
- Motor eléctrico (acoplado al soplador).
- Válvula controladora del flujo másico del combustible gaseoso.
- Manómetro indicador del flujo másico de aire.
- Manómetro indicador de presión a la entrada del combustible.
- Rotámetro para medir flujo másico de combustible gaseoso.
- Perillas ajustadoras de manómetros.
- Botón de encendido.
- Rotámetro para medir flujo másico de combustible líquido.
- Válvula controladora de flujo másico de combustible líquido.
- Entrada combustible líquido.
- Entrada combustible gaseoso.
- Válvula reguladora para la presión del gas.
- Válvula reguladora para la presión de entrada de aire a la cámara.
- Pin palanca reguladora del caudal másico de aire.
- Bujía de encendido.

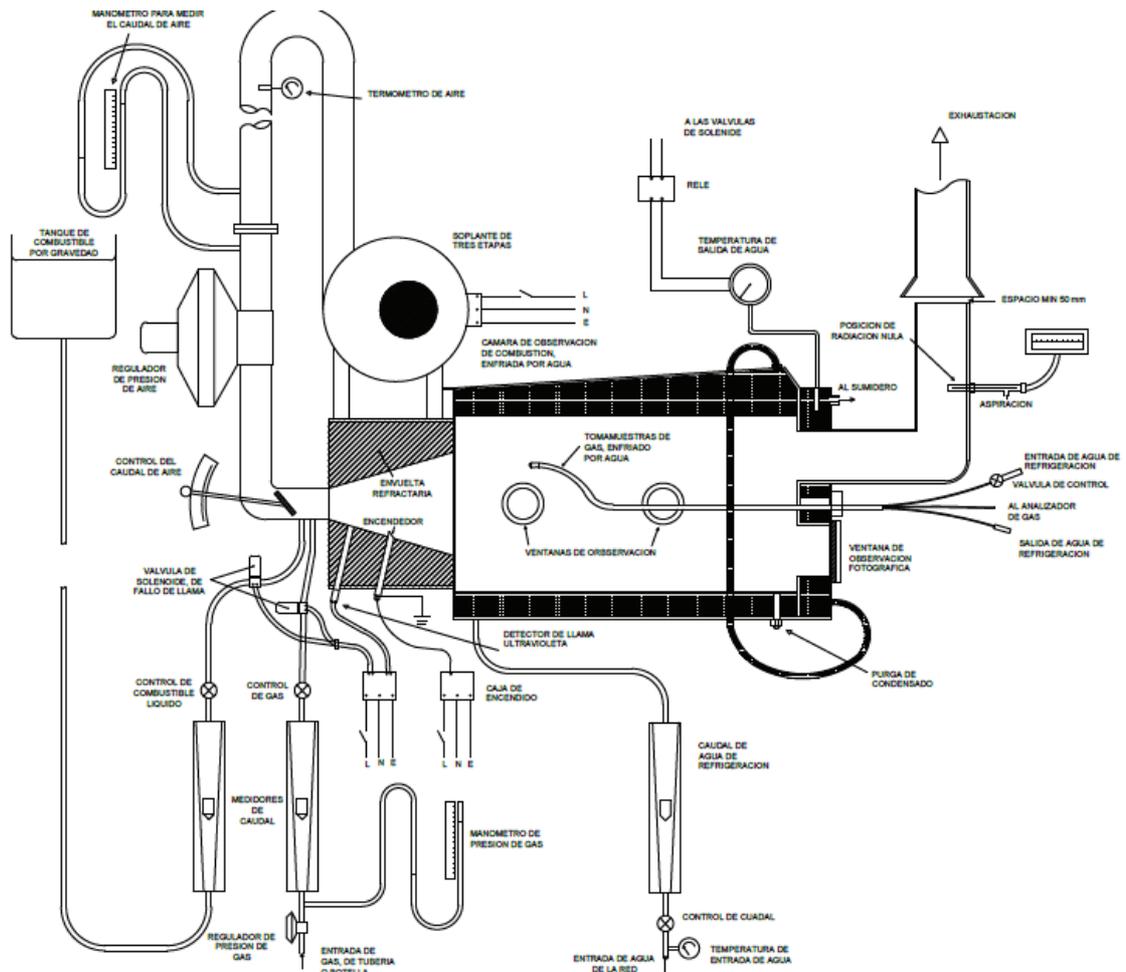


Figura 14 Esquema de partes unidad de combustión continua

3.3. FUNCIONALIDAD DE LA UNIDAD DE COMBUSTIÓN CONTINUA Y OPERACIÓN.

La Unidad de Combustión Continua está destinada para su utilización en prácticas de laboratorio así como para la investigación de la combustión, la tecnología de los combustibles y para demostrar el manejo y el funcionamiento de equipos típicos de combustión industrial que tenemos en el campo laboral.

Un quemador dentro de la cámara de combustión de acero inoxidable, refrigerada por agua, funciona continuamente produciendo una llama que la podemos analizar por medio de ventanas de observación, así como el análisis de los datos producidos por la combustión mediante diferentes tipos de sensores analógicos.

Los controladores de los sistemas de alimentación incorporados permiten un amplio estudio con diferentes variaciones de la relación aire/combustible y de la combustión que se está realizando, así como el análisis térmico referente a la cámara. El equipo funciona inicialmente con combustible gaseoso y requiere de un estado de transición para pasar a ser utilizado con combustible líquido.

El quemador y la cámara de combustión son dependientes al aire que entra, para que el consumo de aire medido en la placa de orificio sea la cantidad total usada en el proceso de combustión. Esto permite elegir una amplia gama de relaciones aire/combustible, para obtener los datos experimentales que necesitamos en los diferentes casos de estudio.

El análisis de los gases de escape se realiza en cualquier punto de la cámara de combustión mediante él toma muestra de gas enfriado por agua. Midiendo exactamente el calor absorbido por el agua de refrigeración y la temperatura de los gases de escape, con esto podemos analizar los efectos de la relación aire combustible en la combustión y como optimizar su utilización.

La unidad de combustión continua servirá para realizar un análisis experimental.

3.4. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN.

El sistema de alimentación del equipo consta principalmente de 3 grandes ramificaciones:

- Alimentación de aire
- Alimentación de combustible (Líquido y gaseoso)
- Alimentación de agua

3.4.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AIRE.

El sistema de alimentación de aire consta de un soplador centrífugo conectado a una línea de alimentación regulada por mandos manuales con una salida al quemador de la unidad, además consta de instrumentación manual que nos da la lectura de temperatura y caudal del mismo.



Figura 15 Sistema de alimentación de aire

3.4.2. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLES.

El sistema de alimentación de combustible consta de dos líneas:

Alimentación de combustible gaseoso

Consta de tanques de propano conectados a una línea de alimentación controlada por reguladores de presión, un rotámetro que controla el flujo másico de entrada de gas además de válvulas electromecánicas para el paso de gas e instrumentación manual que da la lectura de presión del mismo.

Alimentación de combustible líquido

Consta de un tanque de combustible conectado a una línea de alimentación, un filtro y un rotámetro que mide el flujo de entrada.

3.4.3. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA.

El sistema de alimentación de agua o refrigeración está conectado por medio de una válvula de paso a la red general de alimentación de los laboratorios, se controla el flujo másico por medio de un rotámetro además de válvulas de paso que permiten la entrada del agua de refrigeración a la unidad.

3.5. SISTEMAS GENERALES

3.5.1. SISTEMA DE LA SECCIÓN ELECTROMECAÁNICA

El sistema electromecánico está comprendido por:

- Sistema de refrigeración.
- Sistema de combustión.
- Sistema de encendido.
- Motor eléctrico.
- Soplador centrífugo.

3.5.2. COMPONENTES DE LA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

La sección de instrumentación y control está formada por:

- Indicadores de temperatura (termómetro de aguja, cuatro en total).
- Tres válvulas controladoras de caudal.
- Válvulas reguladoras de presión (aire y gas).
- Dos manómetros diferenciales.

3.6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO

Quemador

El equipo cuenta con un quemador Shieldrop No. 3 combinado, con surtidores y conducto para combustibles destilados y gases.

Suministro de Aire

El suministro de aire es proporcionado por un soplante centrífugo de marca B.V.C Tipo Y3/100 de tres etapas, la salida de aire es proporcionada a partir de una tubería de 50 mm a un regulador o mando manual que según la posición de la placa orificio brinda variables flujos máscicos desde 50 kg/h en la posición 1, hasta un máximo 170 en la posición 8, de la misma forma el soplante mantiene una presión de unos 250 mm de columna de agua en el quemador.

Cámara de Observación

Consta de lámina acero inoxidable barolada y soldada concéntrica a otra envolvente, con diámetro interior de 46 cm x 91 cm de largo, separadas entre sí por una pared de agua de 25 mm en el cilindro con 38 mm en la placa terminal. En la parte lateral de la cámara consta de cuatro orificios de observación a sus costados de 50 mm y un orificio en la parte posterior en la placa terminal de 150 mm de diámetro. Así como un punto de toma de 25 mm de diámetro para toma de muestras y sistema de enfriamiento del mismo.

Mandos

Mando manual de regulación de flujo máscico de aire y válvula de regulación manual de flujo máscico de combustible tanto líquido como gaseoso.

Dichos mandos permiten controlar una amplia variedad de relaciones aire/combustible con regímenes de combustión variables.

Válvula de mando de caudal de agua de enfriamiento de la cámara principal de observación.

Válvula de mando de agua de enfriamiento de la sonda toma muestras de gases de combustión.

Suministro Eléctrico

Pueden servirse el suministro de aire y el encendido para funcionar a 220/240 Voltios monofásico 50 Hz o bien a 110/115 Voltios monofásico 60 Hz.

Medidor de flujo másico de Aire

El flujo másico es controlado mediante una placa de orificio y un manómetro diferencial tipo u con escalas de lectura directa calibradas entre 0-170 kg/h.

Medidores de flujo másico de Combustible

Para realizar la medición del flujo másico de combustible tanto líquido como gaseoso se consta de rotámetros con escalas de lectura directa. (Líquido 0-20 kg/h), (Gas 0-18 kg/h).

La línea de alimentación de gas consta con una válvula reductora de presión así como con un manómetro a su salida.

Medidor de flujo másico de Agua

El sistema de refrigeración de la cámara de observación es controlado mediante un rotámetro con escalas de lectura directa entre 0-1600kg/h.

Medidores de Temperaturas

Termómetro en la entrada de agua al rotámetro del fluido con un rango de -30 a 60 grados Celsius.

A la salida de la placa terminal se censa la temperatura de salida de agua mediante un mecanismo electromecánico.

Termopar de salida de gases de combustión en la chimenea de escape con un rango 0-1000° Celsius con dispositivo para pirómetro de succión.

Termómetro de aire de entrada en la tubería de salida del Soplante hacia el quemador con un rango en su carátula de -30 a 60° Celsius.

Toma muestras para análisis de gas

Consta con una sonda o tubo de bronce en la cual en su parte interior lleva una línea de entrada de agua y un tubo capilar por el cual mediante una jeringa al vacío se puede tomar una muestra de gases en numerosas posiciones.

3.7. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS CRÍTICOS.

Los parámetros críticos son las variables más importantes utilizadas durante la operación de la unidad.

- Flujo de entrada de aire.
- Flujo de entrada de combustible líquido/gaseoso.
- Presión de combustible gaseoso.
- Flujo de entrada de agua.
- Temperatura de entrada de agua.

- Temperatura de entrada de aire.
- Temperatura de salida de agua
- Temperatura de salida de gases de escape

Una vez tomado en cuenta todas nuestras variables críticas, analizamos cada uno de los sistemas de alimentación que los contienen.

Limpiando y desarmando las piezas nos encontramos con el deber de realizar un control y clasificación de cada uno de los elementos y piezas de los principales sistemas de alimentación.

Defectando correctamente cada elemento según su estado y uso, dicha Defectación de las piezas se clasifican en: Piezas aptas, piezas a restaurar y piezas desechables

Tabla 1 Defectación Alimentación de Combustible Líquido

	CANTIDAD	PIEZA APTAS	PIEZAS A RESTAURAR	PIEZAS DESECHABLES
SISTEMA DE ALIMENTACION COMBUSTIBLE LIQUIDO				
Tanque de combustible	1	X		
Acoples de manguera	2			XX
Manguera para combustible	1			X
Abrazadera de manguera	2			XX
Filtro de combustible	1		X	
Medidor de flujo másico	1	X		
Válvula electromecánica solenoide	1		X	
TOTAL	9	2	2	5

Tabla 2 Defectación Alimentación de Combustible Gaseoso

	CANTIDAD	PIEZAS APTAS	PIEZAS A RESTAURAR	PIEZAS DESECHABLES
SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE GASEOSO				
Tanques de combustible gaseoso propano	3	XXX		
Tuberías y acoples rígidos	1	X		
Válvula reguladora de presión	1	X		
Válvula de bola 3/4"	1	X		
Manguera transparente 3/4" ID	2			XX
Manguera transparente estriada 3/4" ID	2			XX
Acoples de manguera con rosca y espigas dentadas	4			XXXX
Abrazadera de manguera de 1"	5			XXXXX
Abrazadera de manguera de 3/4"	4			XXXX
Pulmón regulador de presión	1		X	
Medidor de flujo másico	1	X		
Válvula de paso de 3/4"	1	X		
Neplo 3/4 x 3" un extremo NPT otro liso	3	XXX		
Válvula electromecánica solenoide	1		X	
TOTAL		11	2	17

Tabla 3 Defectación Refrigeración de Agua

	CANTIDAD	PIEZAS APTAS	PIEZAS A RESTAURAR	PIEZAS DESECHABLES
SISTEMA DE ALIMENTACION DE AGUA				
Llave de paso	1	X		
Acople de manguera roscado	2			XX
Medidor de flujo másico	1	X		
Acoples de bronce del medidor de flujo másico	2			XX
Manguera transparente	2			XX
Sonda toma muestra	1		X	
Lamina envolvente de la camisa de agua	1		X	
TOTAL	10	2	2	6

Tabla 4 Defectación Alimentación de Aire

	CANTIDAD	PIEZAS APTAS	PIEZAS A RESTAURAR	PIEZAS DESECHABLES
SISTEMA DE ALIMENTACION DE AIRE				
Soplante centrifugo de 3 etapas	1	X		
Filtro de aire del soplante	1		X	
Manguera flexible	1	X		
Manguera transparente 5/8"	2			XX
Ducto de acero de 2"	1	X		
Mando manual de la válvula de paso	1		X	
Mecanismo a apertura de placa	1		X	
TOTAL	8	3	3	2

Tabla 5 Matriz total de piezas Defectadas de los Sistemas Principales

	TOTAL	PIEZAS APTAS	PIEZAS A RESTAUR AR	PIEZAS DESECHAB LES
DEFECTACION DE LAS PIEZAS	57	18	9	30

Como producto del defectado y la clasificación de las piezas antes mencionadas, se pueden reconocer los siguientes índices.

- Índice de piezas Aptas:

$$I_a = \frac{N_a}{N} * 100$$

Ecuación 14 Índice de piezas aptas

Dónde:

Na.- Cantidad de piezas que resultan aptas

N.- Cantidad de piezas defectadas

$$I_a = \frac{18}{57} * 100$$

$$I_a = 31,57\%$$

- Índice de restauración:

$$I_r = \frac{N_r}{N} * 100$$

Ecuación 15 Índice de restauración

Dónde:

Nr.- Cantidad de piezas que son restaurables

$$I_r = \frac{9}{57} * 100$$

$$I_r = 15,78\%$$

- Índice de piezas desechables

$$I_d = \frac{N_d}{N} * 100$$

Ecuación 16 Índice de piezas desechables

Dónde:

Nd.- Cantidad de piezas que resultan desechables del lote N

$$I_d = \frac{30}{57} * 100$$

$$I_d = 52,63\%$$

Como resultado nos obtenemos con 2 grandes índices el de piezas aptas y el de piezas desechables, este último con el mayor valor.

Un porcentaje tan alto nos refleja como era de esperarse, que debido al paso de tiempo, mas no del uso las piezas se han producido un desgaste, deterioro y daño de estas.

Desmontar piezas que nunca han sido removidas antes también ocasiona perdida de la misma por su intervención al objeto y manipulación, ya que el tiempo ha hecho su trabajo y estas no poseen las mismas características físicas que hace 30 años.

Con este análisis procedimos a la recuperación total del equipo, se intervino así las piezas antes nombradas para lograr la correcta operación de todo el conjunto.

CAPÍTULO 4

RECUPERACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL EQUIPO

4.1. RECUPERACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN.

La recuperación la vamos a realizar mediante un manteniendo preventivo y correctivo en los sistemas tanto generales como de alimentación que sean necesarios para dar un funcionamiento óptimo de la unidad.

En cuanto a las acciones de manteniendo se realizaran over hauls de todo tipo reparaciones pequeñas, medias y altas, con y sin desmontaje según la falla o emergencia en cada una de las líneas.

Se realizaran acciones de limpieza a cada uno de los componentes, así como lubricación en componentes que lo requieran, según especificaciones del fabricante.

También se harán modificaciones en el diseño inicial, cambiando elementos dependiendo los recursos y disponibilidad, con el fin de reemplazar componentes obsoletos o difíciles de encontrar en el mercado local.

Otras de las acciones principales que se realizaran son: ajustes, chequeos, reaprietes y regulaciones.

4.1.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLES.

En los sistemas de alimentación de combustible realizamos un mantenimiento tanto correctivo como preventivo para su recuperación.

Nuestro principal problema fue en el paso del gas hacia la cámara de combustión. No existía ningún valor de flujo de entrada por lo cual:

En primer lugar se manejó la línea de combustible gaseoso, lo que realizamos fue un chequeo general de la línea desde los tanques de propano hasta la válvula reguladora de presión con el fin de evitar fugas.

Mediante una brocha se colocó agua con detergente en todo el contorno de las tuberías así como en las válvulas de paso, con esto detectamos fugas visualmente.

Para las fugas menos perceptibles utilizamos un detector de gas en cada una de las salidas de los tanques de propano.

Una vez seguros que no existen fugas, se procedió a regular la presión de entrada al equipo a 30 psi.

Paso siguiente se verificó el funcionamiento del otro regulador de presión de gas ubicado debajo del equipo, después de la válvula de paso de la línea principal de gas.

Limpiamos sus componentes, verificamos si el resorte ha sufrido algún tipo de deformación permanente, al ser un resorte de acero al carbono sometido a compresión que mediante un ajuste manual reduce el paso del gas por el

pulmón, comprobamos su correcto funcionamiento, el cual fue normal por esto concluimos que el resorte se encuentra en perfectas condiciones.



Figura 16 Mantenimiento línea de alimentación de combustible

Una vez limpio, reajustado y calibrado para que el paso del gas a la unidad sea de 1 bar, se lo ubicó de manera correcta para que tanto su flujo y dirección estén en correcta posición.

Se cambiaron todos los componentes de cañería a tubería de 3/4" transparente con tejido para que no haya problema con la presión del gas entre la salida de la válvula de paso general hasta el pulmón regulador.

De la misma manera desde el otro extremo del pulmón hacia el medidor de caudal de gas.

Se desmonto el medidor de caudal, que consta de un tubo de acero como eje soporte y de un tubo de vidrio donde se encuentra un rotor de bronce y un filtro de plástico, se verifico con aire comprimido el paso fluido del aire por los mismos.



Figura 17 Desmontaje medidor de caudal

Se cambió las mangueras y abrazaderas del medidor de caudal, y se realizó una limpieza y ajuste para evitar fugas en las conexiones.

A pesar de los pasos realizados seguíamos sin poder tener paso del fluido hacia la cámara de observación.

Continuando con el mantenimiento para poder conocer con certeza en qué lugar el paso del gas no era normal se desmonto las válvulas solenoides, se

comprobó su funcionamiento mecánico, el cual consta de un cuerpo de bronce de paso unidireccional, vástago, acoples, resorte, empaque y una bobina.



Figura 18 Desmontaje válvulas solenoides

Se realizó una comprobación eléctrica con lo cual verificamos que el campo magnético era suficiente para el vástago se levante y dejar pasar el gas hacia la cámara.

Al no encontrar fallas mecánicas procedimos a un análisis del sistema eléctrico en general.

Con esto pudimos detectar que teníamos una falla en las conexiones eléctricas, por lo cual la apertura de las válvulas no era normal y esto no permitía el paso del gas a la unidad. Se realizó los cambios necesarios para que la apertura de la electroválvula permita que el flujo de gas sea normal.

Tabla 6 Matriz piezas restauradas Alimentación de Combustible Gaseoso.

SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE GASEOSO		
PIEZAS RESTAURADAS	PROCEDIMIENTO	OBSERVACION
PULMÓN DE REGULADOR DE PRESIÓN	<p>METODO UTILIZADO: REGULACION</p> <p>Se realizó una limpieza de su componente y se verifico principalmente el estado del resorte de Acero al Carbono. Se reguló la sección circular junto con el tornillo que comprime al resorte de tal forma que nos dé una medición menor 1 bar para el ingreso a la válvula solenoide.</p>	<p>El principal defecto en dicho componente, aparte del ajuste de compresión de resorte para reducir el área del diafragma, fue que el pulmón es unidireccional. Y se encontraba en contraflujo evitando el paso del gas.</p>
VÁLVULA ELECTROMECAÁNICA SOLENOIDE	<p>METODO UTILIZADO: REGULACIÓN</p> <p>Se comprobó el mecanismo mecánico del mismo que consta de un cuerpo o diafragma, acople de cierre, vástago, empaque, resorte y bobina. En cuanto al mecanismo eléctrico la bobina si magnetizaba al vástago, alzándolo para que permita el paso de gas a través de su cuerpo.</p>	<p>El sistema eléctrico de la solenoide estaba en perfecto estado, lo cual nos llevó a otro estudio de la tarjeta controladora y de más circuitos que intervenía en el accionamiento del mismo.</p>

En cuanto a la línea de combustible líquido se realizó el mismo procedimiento, verificar fugas, reemplazar mangueras y abrazaderas.

Al filtro de combustible se lo intervino realizando limpieza del mismo con gasolina, limpiando impurezas para que no se tape. Se lo ajustó nuevamente a su línea. En las conexiones se agregó sellante para evitar fugas.

Encontrándonos con el mismo problema que el de la línea de combustible gaseoso.

En el cual después de verificar la electroválvula de su línea se comprobó su correcto funcionamiento al probarlo conectándolo de manera directa a una toma de 110v. Induciéndonos de la misma manera a que el problema en esta zona era netamente eléctrico y no mecánico.

Tabla 7 Matriz piezas restauradas alimentación de combustible líquido.

SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE GASEOSO		
PIEZAS A RESTAURAR	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIÓN
VÁLVULA ELECTROMECAÁNICA SOLENOIDE	METODO UTILIZADO: REGULACIÓN Se comprobó el mecanismo mecánico. En cuanto al mecanismo eléctrico la bobina magnetizaba al vástago alzándolo para que deje circular el gas a través de su cuerpo.	El sistema eléctrico la solenoide estaba en buen estado, lo cual nos llevó a otro estudio de la tarjeta controladora y de más circuitos que intervenía en el accionamiento del mismo

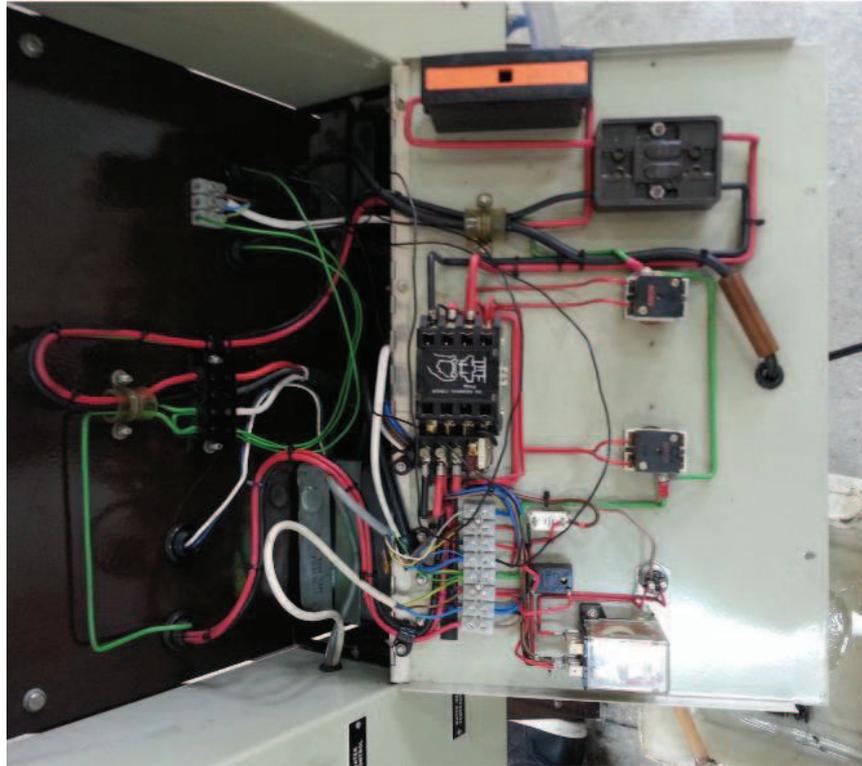


Figura 19 Sistema eléctrico

4.1.2. SISTEMA ALIMENTACIÓN DE AIRE.

Realizamos un mantenimiento general a la línea de alimentación de aire.

Se verifico las conexiones eléctricas, se realizó una limpieza total del soplante y sus componentes, principalmente en el filtro de aire, haciendo circular aire comprimido de manera tangencial al centro, desde adentro y hacia afuera y se realizaron reajustes del soplante con su base soporte.

El mando de la válvula de paso de aire así como sus componentes mecánicos se encontraba remordidos, por lo cual realizamos un desmontaje parcial del mismo, alineando sus componentes para que su movilidad sea

correcta y evitar superposiciones motivo por el cual no funcionaba de manera correcta.



Figura 20 Válvula de paso de aire

Se ajustó el prisionero del mando de la válvula a su eje principal, así como varios reajustes en general del mecanismo mecánico de paso de aire.

Tabla 8 Matriz de piezas restauradas en el Sistema de Alimentación de Aire

SISTEMA DE ALIMENTACION DE AIRE		
PIEZAS A RESTAURAR	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIÓN
MANDO MANUAL DE LA VÁLVULA DE PASO	Se liberó los prisioneros para liberar el mando de su eje, este se encontraba desgastado. Se colocó dos tornillos Allen sin cabeza o gusanos en diferente posición, donde no haya desgaste ajustándolos a su eje.	Con dicho procedimiento el mando se mueve a la par con su eje. Dándonos un correcto funcionamiento del mando manual de la válvula.
MECANISMO DE APERTURA DE PLACA	Al encontrarnos con superposiciones y atascamientos. Procedimos a desmontar el mecanismo de accionamiento de apertura. Alineado el mecanismo de barras así como la leva con sus topes para la velocidad 1 y 8. Se colocó un prisionero como seguro de los mismos.	Eliminación de la restricción Al alinear y ajustar, los mecanismos, se logró una correcta apertura de la placa para que deje pasar la cantidad de flujo másico deseado sin que se remuerda o atasque.

4.1.3. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN AGUA.

Verificamos las fugas de la línea de abastecimiento general de agua y de su válvula de paso.

Se reemplazó las mangueras de entrada y salida del equipo así como sus abrazaderas y acoples para evitar fugas, y se cambiaron los accesorios de reducción del medidor de flujo a la línea de agua.



Figura 21 Alimentación de agua hacia el rotámetro

Dentro de la cámara de observación se encuentra una sonda toma muestras de gases, la cual se encuentra refrigerada por una línea paralela a la línea de refrigeración de la cámara de observación.

Esta sonda se encontraba con fugas por lo cual la cámara se llenaba de agua internamente.

Realizamos un mantenimiento correctivo soldando con suelda amarilla la punta de la sonda en donde se encontraban las fugas teniendo cuidado de no deformar el tubo capilar por donde circula el gas.

De la misma manera sellamos las fugas de la camisa de agua de la cámara de observación con una masilla especial de metal.

Tabla 9 Matriz piezas restauradas en el Sistema de Refrigeración de Agua

SISTEMA DE ALIMENTACION DE AGUA		
PIEZAS A RESTAURAR	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIÓN
SONDA TOMAMUESTRAS	Se realizó soldadura blanda calentando el metal de aporte mediante una llama producida por la mezcla de oxígeno y acetileno. Se realizó el relleno teniendo especial cuidado con el tubo capilar y la copa de protección de la sonda.	En un principio dicha sonda se encontraba con una fuga muy importante tanto en la punta de la copa, así como en el cuerpo, por lo cual habían fugas que llenaban de agua nuestra cámara de observación. Una vez llevado a cabo el procedimiento de soldadura, el problema fue resuelto.
LÁMINA ENVOLVENTE DE CAMISA DE AGUA	Se verifico las fugas de la lámina envolvente teniendo totalmente llena la camisa de agua. Se preparó una mezcla de masilla metálica de relleno para un punto de soldadura de unión de la lámina, así como 3 puntos poco significativos en el cuerpo	Eliminación del goteo De esta forma se logró evitar pequeños goteos que existían en el estado operativo de la unidad.

Algunos de los componentes utilizados para la restauración de piezas y para el montaje de repuestos:

Tabla 10 Productos de relleno.

MASILLA METÁLICA	
Naturaleza	Polimérica
Color	Metálico
Peso Específico	1,5 kg/l a 20 °C
Cov	26 g/l mezcla

	 PESO	 100	
10°C	100:2	6,5'	20'
20°C		5'	10'
30°C		3'	6'

Figura 22 Uso y aplicación de la masilla metálica

Tabla 11 Ficha técnica producto sellador Permatex

SELLADOR DE SILICON PERMATEX	
DESCRIPCION	
Es un compuesto sellador de un solo componente diseñado para formar una junta en el momento, en ensamblajes mecánicos. Este material cura al exponerse a la humedad del aire para formar una junta de silicón resistente y flexible. Resiste el envejecimiento, medio ambiente y cambios de temperatura sin endurecer, encoger o romperse. Diseñado para mantener el máximo desempeño a 600°F.	
SELLADOR DE SILICON PERMATEX	
CARACTERÍSTICAS	
PROPIEDADES SIN CURAR	
TIPO QUIMICO	silicón acetoxi
APARIENCIA	Pasta roja
OLOR	Leve acético
GRAVEDAD ESPECIFICA	1.05
VELOCIDAD DE EXTRUSION	220 g/min
PUNTO DE FLASHEO	> 93 °C
DESEMPEÑO MATERIAL CURADO	
Después de 7 días a 25°C a 50% humedad	
Dureza (Shore A)	_25
Elongación, %	350
Resisten a la tensión N/mm2 (psi)	1.5 (_218)
Resisten a temp continua °C	de -54 a 136

4.2. RECUPERACIÓN DE SISTEMAS GENERALES.

Como parte de los sistemas generales se dio un mantenimiento eléctrico completo a toda la unidad verificando los diagramas eléctricos de fábrica.

Se comprobó continuidad y voltaje en todos los puntos relacionados con los accionamientos de las electroválvulas. Viéndonos en la necesidad de desmontar todas las conexiones y adecuarlas para su correcto funcionamiento.

Modificamos el accionamiento de las electroválvulas, de tal manera que al recibir la señal de encendido por el controlador actúen de manera simultánea y a su vez para que desactiven en caso de que no exista llama dentro de la cámara de combustión, esta señal la da un detector ultravioleta al que previamente se le comprobó su correcto funcionamiento.

4.2.1. SISTEMA DE ENCENDIDO.

Realizamos mantenimiento de primer escalón en el panel eléctrico, transformadores, relés, cables de alimentación, interruptores, borneras, así como en la bujía que da el encendido al equipo.

4.2.2. SISTEMA DE ESCAPE.

Realizamos limpieza general de la toma de gases en la cámara de observación, así como la verificación de fugas en las conexiones y la tobera de salida al ambiente.

4.2.3. SISTEMA DE DRENAJE.

Realizamos una limpieza general de la cámara de observación, verificamos fugas dentro de la cámara así como taponamientos a la salida de la camisa envolvente de la cámara de observación.

4.3. PUESTA EN OPERACIÓN

Para poner en operación la Unidad de Combustión Continua debemos tomar en cuenta ciertas condiciones que son necesarias para su correcto funcionamiento, estas condiciones se van a detallar mediante el manual de operación de la unidad.

4.4. CALIBRACIÓN Y PUESTA A PUNTO.

La calibración la vamos a realizar estableciendo la relación entre la unidad intervenida y los parámetros de fábrica que se entregan para ciertas partes del mismo, vamos utilizar la calibración por comparación directa dado que los parámetros a calibrar pueden ser sujetos a la misma.

Flujo de entrada de aire

El flujo de alimentación de aire lo calibramos según el manual del fabricante tomando en cuenta los rangos mínimos y máximos que se tiene para la operación de nuestra unidad la calibramos en un máximo de 160kg/h y un mínimo de 60 kg/h verificando estos datos con el sistema analógico propio de la unidad.

Flujo de entrada de agua

Tomando en cuenta la calibración de los flujos anteriores, la disponibilidad de nuestra línea de alimentación además del caudal necesario para la refrigeración del sistema y los datos del manual del fabricante calibramos el flujo de entrada del agua en mínimo 1000 kg/h y un máximo de 1300 kg/h

Flujo de entrada de gas

Al igual que en el flujo de alimentación de aire nos regimos a los máximos y mínimos del manual del fabricante calibrándolo a un mínimo de 6 kg/h y un máximo de 10 kg/h, hay que tomar en cuenta que estos regímenes son en los que la unidad puede trabajar y generar una combustión estable.

Tabla 12 Calibración y puesta a punto

Calibración/Puesta a punto	parámetros de la unidad	parámetros de fabrica
Flujo de entrada aire	60- 160kg/h	50-170kg/h
Flujo de entra agua	1000-1300 kg/h	1000-1600 kg/h
Flujo de entrada de gas	6-10 kg/h	5- 14 kg/h

4.4.1. VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS OPERACIONALES.

La verificación se la realiza mediante pruebas repetitivas de los parámetros críticos antes de la puesta en operación ya que se requiere tener una certeza que estamos en acorde a los estándares de operación que se dan de fábrica.

4.4.2. OBTENCIÓN DE DATOS.

Los datos los obtuvimos tomando medidas con nuestro sistema analógico, estos datos fueron tomados varias veces por dos operadores diferentes, a continuación presentamos una muestra de los datos que podemos obtener de la unidad de combustión.

Tabla 13 Toma de datos analógicos operador 1

op	Q gas kg/h	Q aire kg/h	Q agua kg/h	ent agua(K)	ent aire K	sal agua (K)	P (Kpa)	sal gases (K)
1	7,000	110,000	1200	293	301	318	75	873

Tabla 14 Toma de datos analógicos operador 2

op	Q gas kg/h	Q aire kg/h	Q agua kg/h	ent agua (K)	ent aire (K)	sal agua (K)	P (Kpa)	sal gases (k)
2	6,500	100,000	1150	293	301	318	75	873

Como podemos observar los datos varían debido a la apreciación del operador con respecto al rotámetro en cada medición, además la toma de temperaturas y la toma de presiones no son exactas debido a la instrumentación analógica que se tiene para la medición de los datos.

Hay que tener en cuenta que todos los datos tomados son de suma importancia para los estudios que se pueden realizar en la unidad de combustión continua por lo cual entre más precisos sean los resultados van a ser más fiables.

CAPÍTULO 5 MODERNIZACIÓN.

En vista del avance tecnológico y de un mundo globalizado, la tendencia en los equipos modernos es que la obtención y registro de datos sean presentados de forma digital, de esta manera se evitan errores de paralaje y operación de los sistemas analógicos, obteniendo una correcta y precisa toma de datos según la apreciación y sensibilidad de controles electrónicos que se utilicen.

5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO REPOTENCIADO.

Mediante la modernización, el sistema captura los datos de entrada y de salida, para que tanto la mezcla aire/combustible, así como otras variables que tienen incidencia en la unidad, sean más precisas y tengamos resultados reales con mayor precisión acorde a lo que estamos estudiando.

Esta modernización consiste en estudiar puntos críticos que tengan relación directa con el accionamiento de la unidad e implementar sistemas electrónicos que nos permitan tener lecturas más precisas de las variables que van a estar presentes en el funcionamiento de la unidad de combustión continua.

Con esto podemos incrementar la precisión de la unidad completa así como la velocidad y confiabilidad de la captura de datos en tiempo real.

Además podemos tener un mejor control del funcionamiento de la unidad y mayor seguridad funcional del equipo, así como mayor seguridad de los operadores que realicen prácticas.

5.2. DEFINICIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS.

Los puntos críticos son lugares específicos donde se colocaron los sistemas electrónicos debido a la incidencia de las variables que actúan en estos para la funcionalidad de la unidad.

Los sistemas electrónicos se eligieron según las necesidades de cada punto, ya sean estas de presión, temperatura, caudal u otras.

Luego de un estudio de las variables críticas determinamos que los puntos críticos a ser utilizados van a ser:

- **Línea de alimentación de aire.**

Esta línea se la intervino para modernizar tanto la adquisición de datos en la entrada de flujo de aire así como su temperatura de entrada.

Estos datos son de vital importancia para los estudios que realizamos en la unidad dado que la cantidad de aire que entra a la unidad está directamente relacionada con la mezcla aire combustible y esta, con los datos de salida que se necesitan para los estudios que se realizan posteriormente.

De igual manera la temperatura a la que entra el aire tiene una relación directa con la combustión que se realiza dentro de la cámara de combustión, por esto la debemos controlar de manera precisa sus valores.

- **Línea de entrada de combustible líquido.**

Esta línea se la intervino para modernizar la adquisición de datos en la entrada de combustible líquido a la unidad.

La denominamos punto crítico debido a que es una variable de vital importancia ya que necesitamos conocer con precisión cuanto combustible entrará a la cámara durante la etapa de transición combustible gaseoso/líquido así como en la etapa de combustión del mismo para mantener una relación adecuada para los estudios.

Al trabajar con dicha línea nos encontramos con varios inconvenientes:

En primer lugar nuestro microcontrolador no soportaba 4 medidores de caudal simultáneos, por lo cual el sensor nos arrojaba voltajes demasiado variantes y altos, haciendo que el dato de dicho flujo másico sea totalmente erróneo.

Por otra parte el fluido de trabajo que en este caso es diésel, nos presentó varios problemas debido a que sus características físicas/químicas afectaron tanto en el comportamiento del material de construcción del sensor así como su comportamiento mecánico y electrónico.

Por tal motivo nos vimos en la necesidad no de intervenir esta línea de combustible líquido debido a que sensores con características acordes a las se necesita en esta línea exceden por mucho el presupuesto del proyecto en general.

Por dicho motivo, se realizará la toma de datos en el sistema analógico que se encontraba previamente instalado. Realizando la transición combustible gaseoso/líquido de manera digital y analógica respectivamente.

- **Línea de entrada de combustible gaseoso.**

Esta línea se la intervino para modernizar tanto la adquisición de datos en la entrada de flujo de combustible gaseoso así como su presión de entrada.

Estos puntos críticos son vitales ya que la entrada de combustible gaseoso afecta la combustión y los rangos de operación de mezcla aire/combustible.

Además de la importancia que tiene la cantidad de gas que ingresa a la cámara durante la etapa de transición de combustible gaseoso a líquido.

Es esencial el control de la presión de entrada del gas debido a que si esta excede puede dañar las electroválvulas que tienen rangos de presión determinados.

- **Línea de alimentación de agua.**

Esta línea se la intervino para modernizar tanto la adquisición de datos en la entrada de flujo de agua así como su temperatura de salida.

Se controló el flujo de entrada de agua debido a que este se utiliza como refrigerante en la unidad y si no existe el flujo de agua adecuado se pueden producir severos daños tanto en la cámara de combustión como en la sonda de toma de muestras de gases que se tiene dentro de la cámara.

La temperatura de salida del agua es esencial en el funcionamiento de la maquina ya que tiene una relación directa con el calor que se está generando dentro de la cámara, esta temperatura está ligada a un actuador que nos sirve como mecanismo de seguridad.

Además para diferentes estudios que se pueden realizar dentro de la unidad dicha temperatura es una variable de suma importancia, por lo cual se la tiene que controlar de manera adecuada y precisa.

5.3. INSTRUMENTACIÓN.

La instrumentación electrónica la aplicamos en el censado y procesamiento de información proveniente de las variables físicas, que se dan dentro de la unidad en los puntos críticos que vamos a intervenir.

A partir de esto realizamos un monitoreo y control de procesos en la operación de la unidad, empleando dispositivos electrónicos.

Para la instrumentación utilizamos los siguientes elementos:

Sensores

Un sensor es un dispositivo que tiene la capacidad de detectar diferentes tipos de variables y transformarlas en variables eléctricas.

Estos elementos tienen la principal característica que se pueden adaptar y estar con contacto directo con el medio a ser medible.

Las magnitudes que se pueden detectar son tanto físicas como químicas, también llamadas variables de instrumentación que pueden ser algunas de las siguientes: presión, temperatura, velocidad, peso, distancia, aceleración, intensidad luminosa entre otros varios.

Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

En nuestro caso utilizamos sensores de flujo, presión y temperatura que forman parte de una modernización en conjunto de todo el equipo.

Estos sensores obtienen señales de magnitudes físicas propias del funcionamiento de la unidad y las convierten en señales eléctricas que puedan ser llevadas a un acondicionamiento de señales de ser necesario para su posterior adquisición en nuestro sistema electrónico.

Acondicionamiento y adquisición de datos.

El acondicionamiento de señales así como la adquisición de datos la realizamos mediante un microcontrolador, debido a que estos son los de mayor flexibilidad para los requerimientos de nuestra modernización, el despliegue de los datos se los va a realizar mediante una pantalla interactiva con el usuario o interfaz HMI dándole la facilidad de la toma de datos así como la visualización de los mismos.

Actuador

Mediante controladores y un circuito eléctrico, podemos controlar el paso de la entrada de combustible hacia el quemador, para evitar implosiones en la cámara de combustión lo cual podría dañarla.

Consta de un mecanismo eléctrico que regula como límite máximo un valor de temperatura en la caratula, este mismo sensor detecta la temperatura de salida de agua de refrigeración comparando el valor actual con el limite antes establecido.

En caso que el valor detectado sea mayor o igual al establecido en la caratula, el circuito eléctrico se abrirá evitando que las válvulas electromecánicas tengan alimentación eléctrica, lo que hará que vástago de la solenoide deje de estar magnetizado cerrando el paso de combustible en el cuerpo de la válvula.

Además este circuito está conectado a un indicador luminoso el cual esta encendido solo cuando las válvulas están abiertas.

5.3.1. SELECCIÓN DE SENSORES.

Los sensores se los seleccionaron tomando en cuenta los rangos de operación que vamos a utilizar para cada una de las líneas de alimentación, se tuvo en cuenta los flujos máxicos con los que vamos a trabajar, así como las variables presión y temperaturas necesarias.

Los sensores los detallamos según la línea en la que los utilizamos.

Línea de alimentación de aire

Termocupla tipo k

Tabla 15 Características termocupla tipo k alimentación de aire

Tipo	Rango de temperatura °C	Límite de error	material aislante	Material Vástago
K	0-1250	+/- 2,2°C +/- 0,75%	óxido de magnesio	Aleación de níquel

Medidor de Caudal (0.8 - 6 l/min)

Tabla 16 Características Sensor de Caudal 0.8-6 alimentación de aire

Tipo	Caudal L/min	sensibilidad por litro (l)	Voltaje de alimentación (V)	alimentación (A)	Temp operación	Presión Max
K	0.8 – 8.0	0.0039	2.4 – 26 DC	2.8 a 8 Max	0 a 40°C	6.0 bar (85 psi)

Línea de alimentación de agua

Medidor de Caudal (1-80 l/min)

Tabla 17 Características Sensor de Caudal 1-80 alimentación de agua

Tipo	Rango de Caudal L/min	sensibilidad por litro (l)	Voltaje de alimentación (V)	Corriente de alimentación (A)	Temperatura op	Presión Max
K	1– 60	0.0039	2.4 – 26 DC	2.8 a 8 Max	0 a 40°C	6.0 bar (85 psi)

Termocupla tipo k

Tabla 18 Características termocupla línea de alimentación de agua

Tipo	Rango de temperatura °C	Límite de error	material aislante	Material Vástago
K	0-1250	+/- 2,2°C +/- 0,75%	óxido de magnesio	Aleación de níquel

Línea de alimentación de gas

Sensor de presión MPX 4115

Tabla 19 Características sensor de presión MPX4115

Tipo	Rango de presión Kpa	Sensibilidad (mV/kPa)	Voltaje de alimentación (V)	Corriente de alimentación (mA)	Temperatura Operación
MPX 4115	15-115	45,9	4,85 – 5,35 DC	10	menos 40 a 125°C

Medidor de Caudal (1-80 l/min)

Tabla 20 Características sensor de caudal 1-80 alimentación de gas

Tipo	Rango de Caudal L/min	sensibilidad por litro (l)	Voltaje de alimentación (V)	Corriente de alimentación (A)	Temperatura op	Presión Max
K	1– 60	0.0039	2.4 – 26 DC	2.8 a 8 Max	0 a 40°C	6.0 bar (85 psi)

5.4. DISEÑO BÁSICO Y DE DETALLE

Nuestro proyecto se basó en la intervención de la unidad de combustión continua para que esta se encuentre operable y su modernización, repotenciando su funcionamiento mediante sistemas eléctricos y electrónicos.

La modernización se la realizó interviniendo las líneas de alimentación de la unidad independientemente y acoplando estas intervenciones a un sistema adjunto a la unidad, esto lo hicimos realizando adaptaciones mecánicas, eléctricas y electrónicas sin modificar el funcionamiento normal de la unidad, logrando así tener datos más exactos para cálculos más precisos que los vamos a detallar posteriormente.

Se utilizaron sensores tanto de caudal, temperatura y presión en diferentes puntos críticos seleccionados, estos sensores son los encargados de enviar pulsos de corriente hacia el microcontrolador, el cual va a transformar estas señales en datos más precisos que posteriormente se reflejan en la pantalla LED, para una fácil visualización por parte del operador.

Se utilizaron 3 sensores de flujo, 2 sensores de temperatura y un sensor de presión.

Para la alimentación de los sensores se utilizó una fuente variable de 4,5 a 12 voltios.

Los sensores los acoplamos a la unidad mediante adaptaciones mecánicas, eléctricas y electrónicas que se basan en accesorios y acoples metálicos de

diferentes características, así como líneas de alimentación eléctrica para cada sensor y sus señales

Todos los terminales de salida se dirigen a una tarjeta electrónica ubicada en una caja metálica junto a la unidad, esta tarjeta está conectada directamente a la pantalla LED, esta pantalla nos va a dar la salida de las señales ya acondicionadas y aptas para la toma de datos del usuario.

El cableado se lo protege mediante mangueras de cable eléctrico y mangueras flexibles para así prevenir la entrada de agua y su manipulación.

Estos componentes no necesitan un gran espacio físico por lo que no afecta el espacio que necesita la unidad para su funcionamiento, manteniendo las medidas originales del mismo y adicionando la caja metálica antes mencionada que contiene el sistema electrónico.

5.5. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO.

Tanto el sistema Eléctrico como el sistema electrónico, se lo diseñó según los requerimientos para la modernización de la cámara de combustión Hilton haciendo un sistema anexo a la unidad, colocado al costado izquierdo en una caja metálica junto con la pantalla LED lo que nos permite una mayor accesibilidad al equipo por parte del operador.

Se utilizan diferentes componentes electrónicos los cuales van a formar parte de nuestro sistema, se toma una fuente de energía de 5v que va a

alimentar los sistemas para adquirir datos así como los sensores y el micro controlador.

El diseño eléctrico/electrónico se lo realizó con el simulador llamado PROTEUS que nos permite realizar un diseño real del sistema que se va a utilizar detallando sus componentes así como las conexiones realizadas para su funcionamiento.

En el siguiente esquema vamos a detallar de mejor manera el diseño que se realizó así como las conexiones en nuestro sistema.

Se lo dividió en 4 partes para poder visualizar de mejor manera las todas las conexiones realizadas.

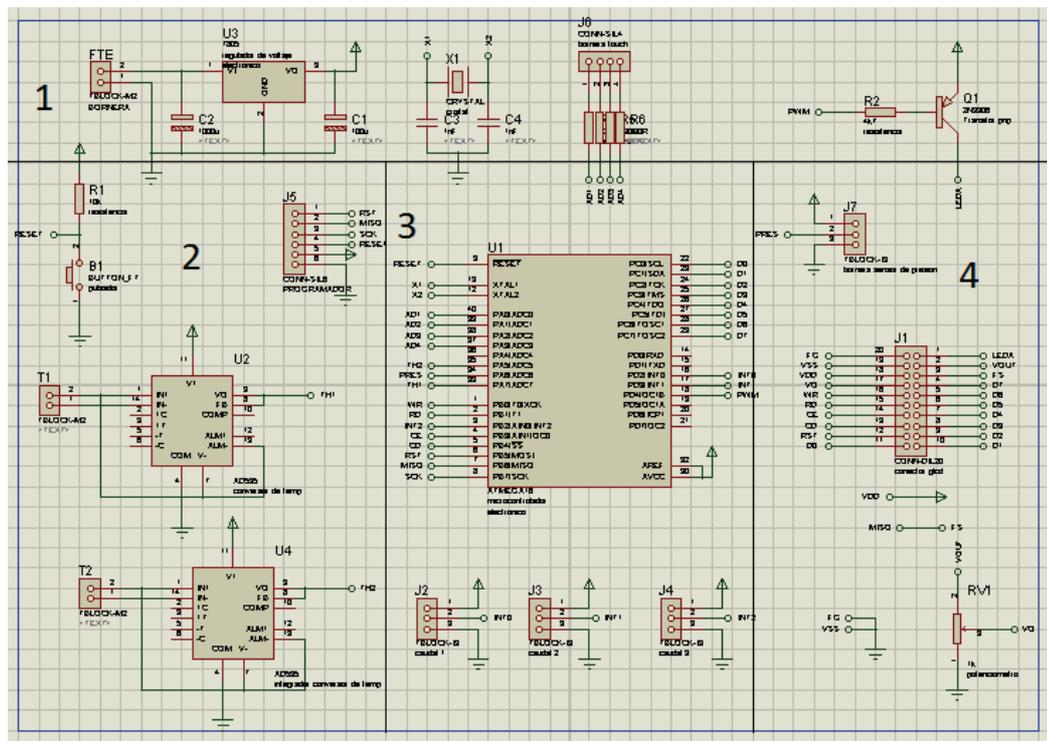


Figura 23 Detalle de las conexiones sistema eléctrico/electrónico

Los componentes utilizados en nuestro sistema así como sus referencias se detallan en la siguiente tabla

Tabla 21 Detalle componentes y referencias sistema eléctrico/electrónico

#	Descripción	Referencia
1	MICROCONTROLADOR	U1
2	RESISTENCIA	R2
3	RESISTENCIA	R3
4	RESISTENCIA	R4
5	RESISTENCIA	R5
6	RESISTENCIA	R6
7	RESISTENCIA	R1
8	CRISTAL	X1
9	CAPACITOR	C3
10	CAPACITOR	C4
11	CAPACITOR	C1
12	CAPACITOR	C2
13	BORNERA	T1
14	BORNERA	T2
15	BORNERA Q1	J2
16	BORNERA Q2	J3
17	BORNERA Q3	J4
18	BORNERA SENSOR PRESION	J7
19	BORNERA F.P	FTE
20	BORNERA	J6
21	CONVERSION DE TEMP	U2
22	CONVERSION DE TEMP	U4
23	PULSADOR	B1
24	CONECTOR PROGRAMADOR	J5
25	CONECTOR GLCD	J1
26	TRANSISTOR	Q1
27	POTENCIOMETRO	RV1
28	REGULADOR DE VOLTAJE	U3

5.5.1. Sección uno conexiones del sistema eléctrico/electrónico

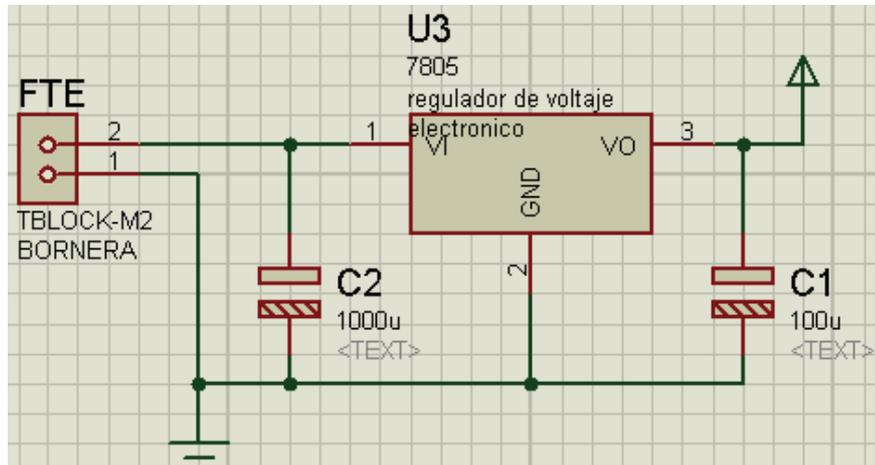


Figura 24 Detalle parte 1 A

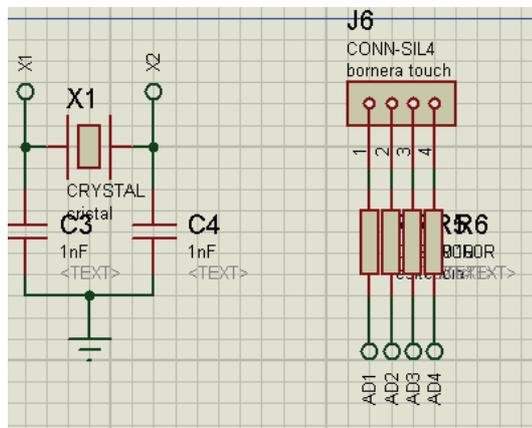


Figura 25 Detalle parte 1 B

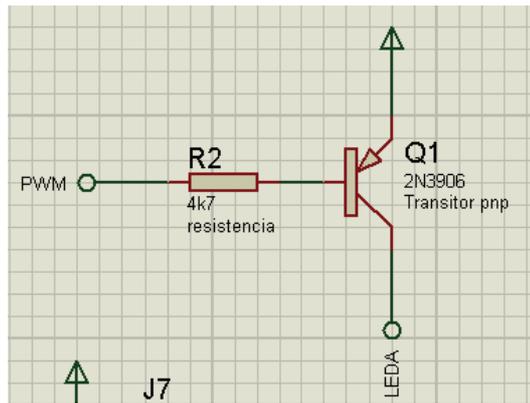


Figura 26 Detalle parte 1 C

5.5.2. Sección dos conexiones del sistema eléctrico/electrónico

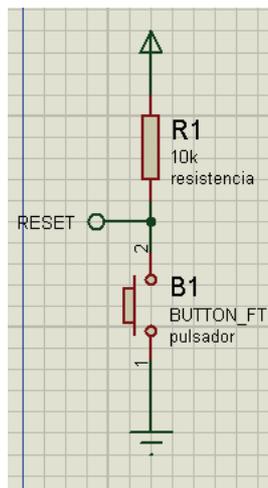


Figura 27 Detalle parte 2 A

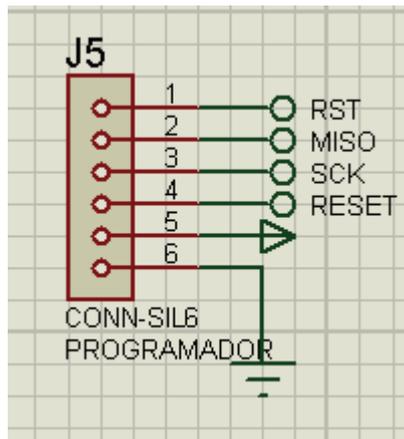


Figura 28 Detalle parte 2 B

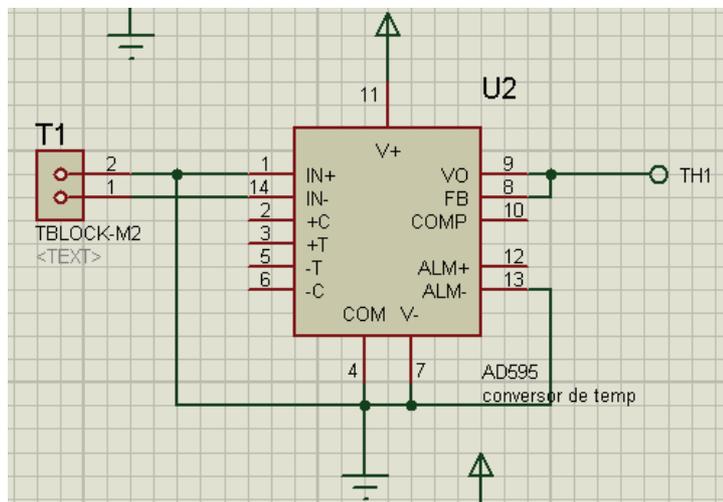


Figura 29 Detalle parte 2 C

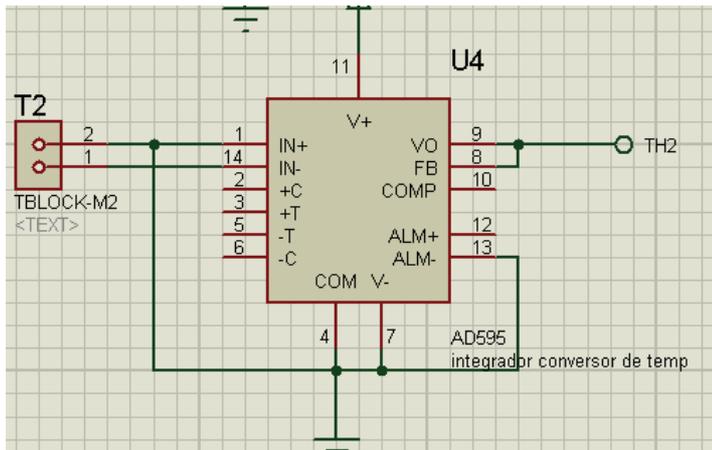


Figura 30 Detalle parte 2 D

5.5.3. Sección tres conexiones del sistema eléctrico/electrónico

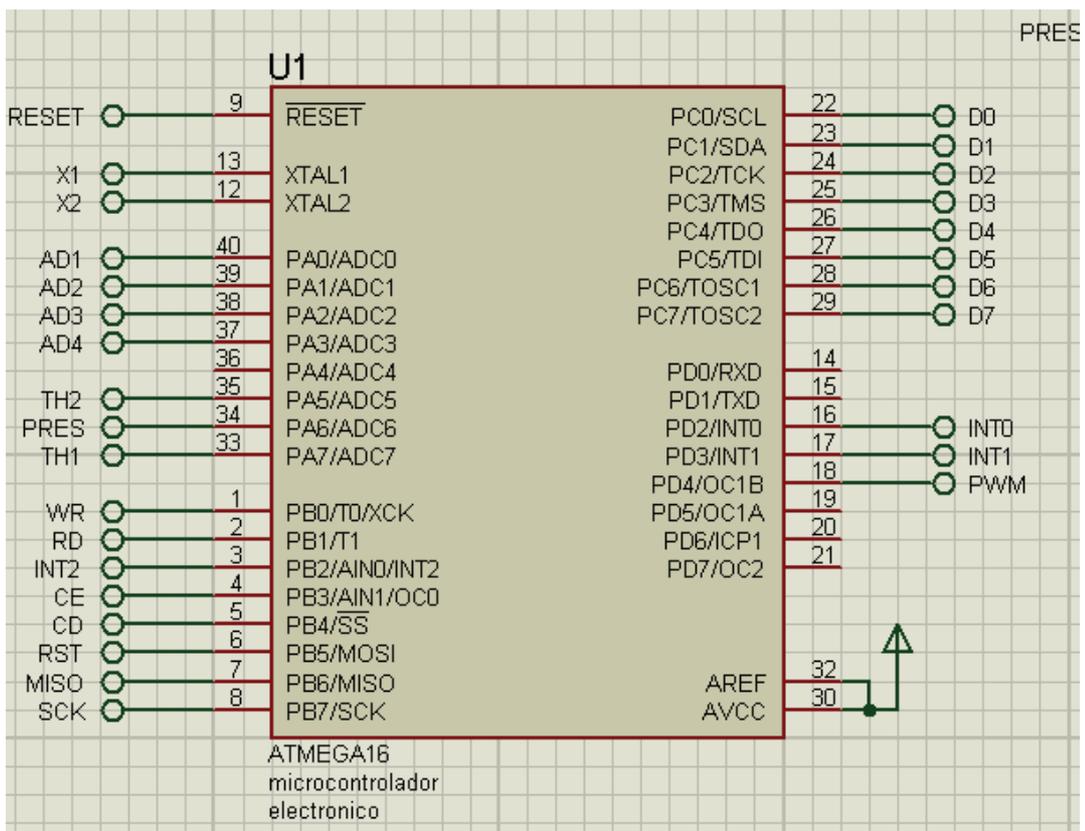


Figura 31 Detalle parte 3 A

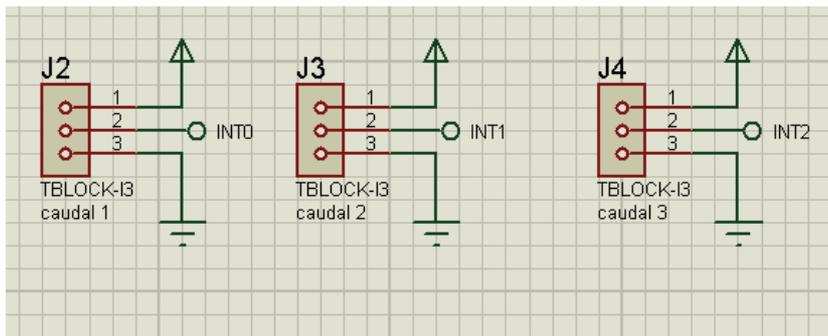


Figura 5. 1 Detalle parte 3 B

5.5.4. Sección cuatro conexiones del sistema eléctrico/electrónico

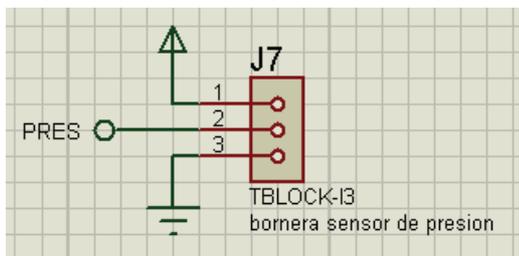


Figura 32 Detalle parte 4 A

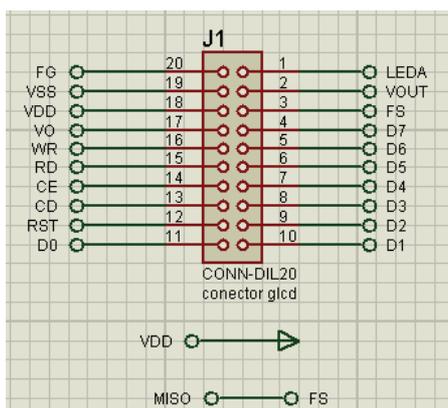


Figura 33 Detalle parte 4 B

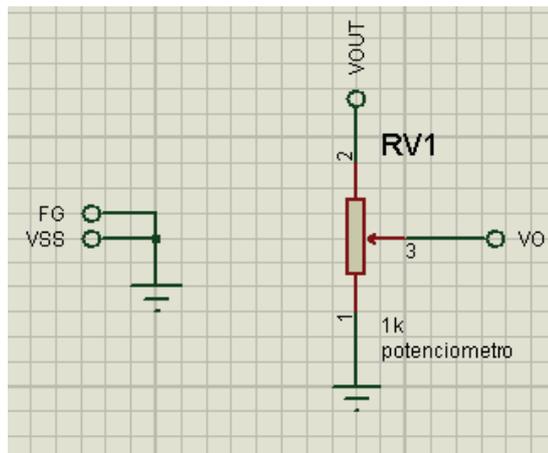


Figura 34 Detalle parte 4 C

5.6. DISEÑO DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS.

El diseño de la adquisición de datos se la realizo tomando en cuenta la definición del problema y el alcance de nuestro proyecto.

La detallamos mediante diagramas de bloques que nos proporcionan una clara idea de cómo se está realizando la adquisición de datos para su posterior visualización.

En una adquisición de datos tenemos que tomar en cuenta cuales son las entradas, cuál va a ser el procesamiento y cuál va a ser la salida que vamos a tener.

Nuestras entradas son magnitudes físicas que por medio de los sensores las transformamos en señales eléctricas, que mediante un procesamiento dado por

un microcontrolador nos arroja información que puede ser enviada a una interfaz de salida.

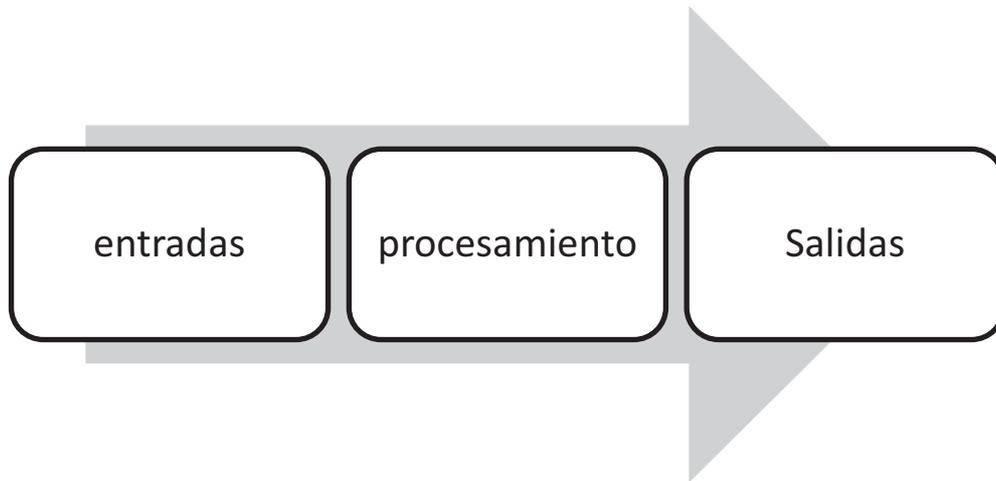


Figura 35 Adquisición de Datos /Entradas

Posteriormente adaptamos las señales que obtenemos ya que no siempre son compatibles con el procesador y las acondicionamos para que puedan ser procesadas por el microcontrolador, este acondicionamiento está dado por elementos electrónicos que están en la tarjeta (convertidores de temperatura) que utilizamos según los requerimientos de las señales obtenidas.

Acondionadas las señales las llevamos a una interfaz de salida que va a darnos la visualización que se necesita para la toma de datos por parte del operador.

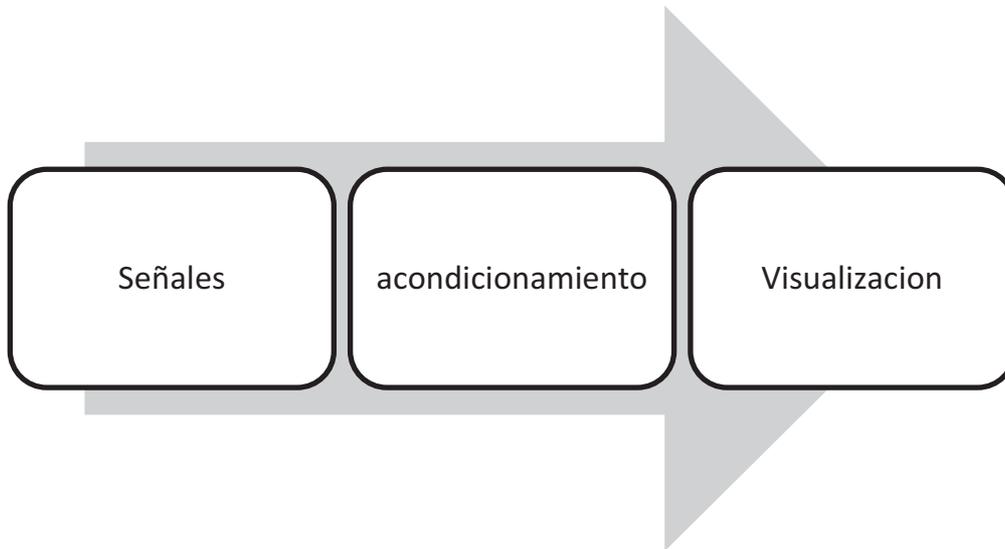


Figura 36 Adquisición de datos /Adaptación de señales

5.6.1. Configuración de la tarjeta de adquisición de datos.

Nuestra adquisición de datos comienza cuando los sensores toman las magnitudes físicas, las censan y transforman estas señales en pulsos eléctricos que son llevados a la tarjeta electrónica la cual toma esas señales las acondiciona de ser necesario mediante dispositivos electrónicos, procesa estas señales y las envía a la interfaz de visualización que por medio de una pantalla LED nos muestra los datos procesados en un esquema de fácil acceso para el usuario.

Tanto el procesamiento de datos así como la visualización se la controla mediante el microcontrolador, realizando la programación respectiva para su posterior compilación mediante un conector de programación.

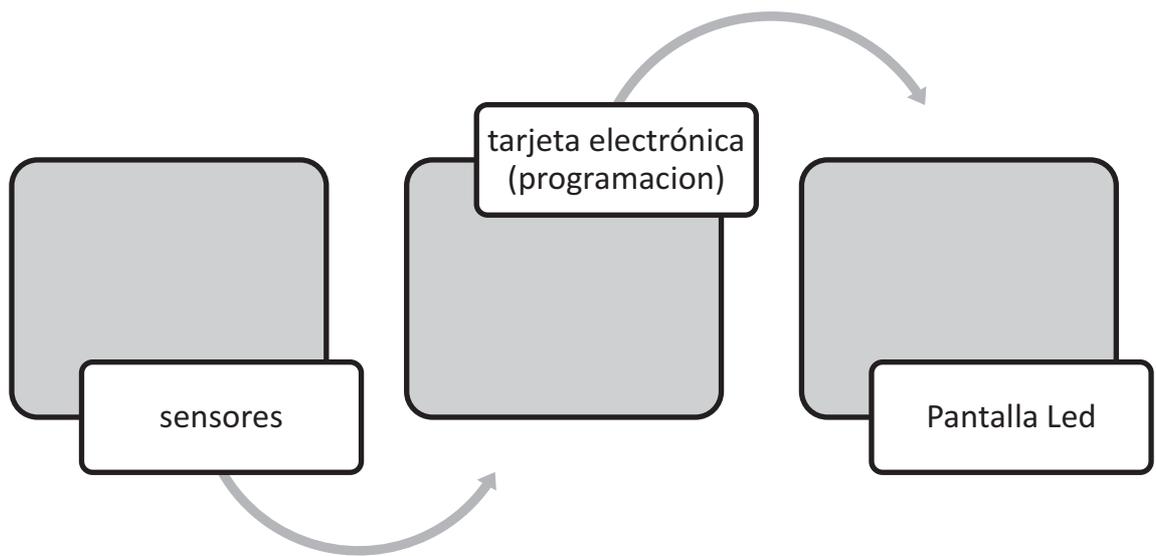


Figura 37 Esquema de funcionamiento de procesamiento de datos

5.6.2. DISEÑO DE LA INTERFAZ DE SALIDA.

La interfaz de salida está diseñada para que sea más amigable con el usuario, consta de una pantalla táctil con un sistema interactivo, esto nos permite generar instrucciones de operación, precauciones así como un esquema del equipo con el cual se puede ver de manera sencilla cada dato que la unidad nos arroja durante su operación.

La programación de la interfaz de salida la realizamos en el microcontrolador mediante BASCOM-AVR, compilamos la información y mediante un conector programable enviamos esta información a la pantalla LED.

La programación se la detalla mediante el código del anexo N

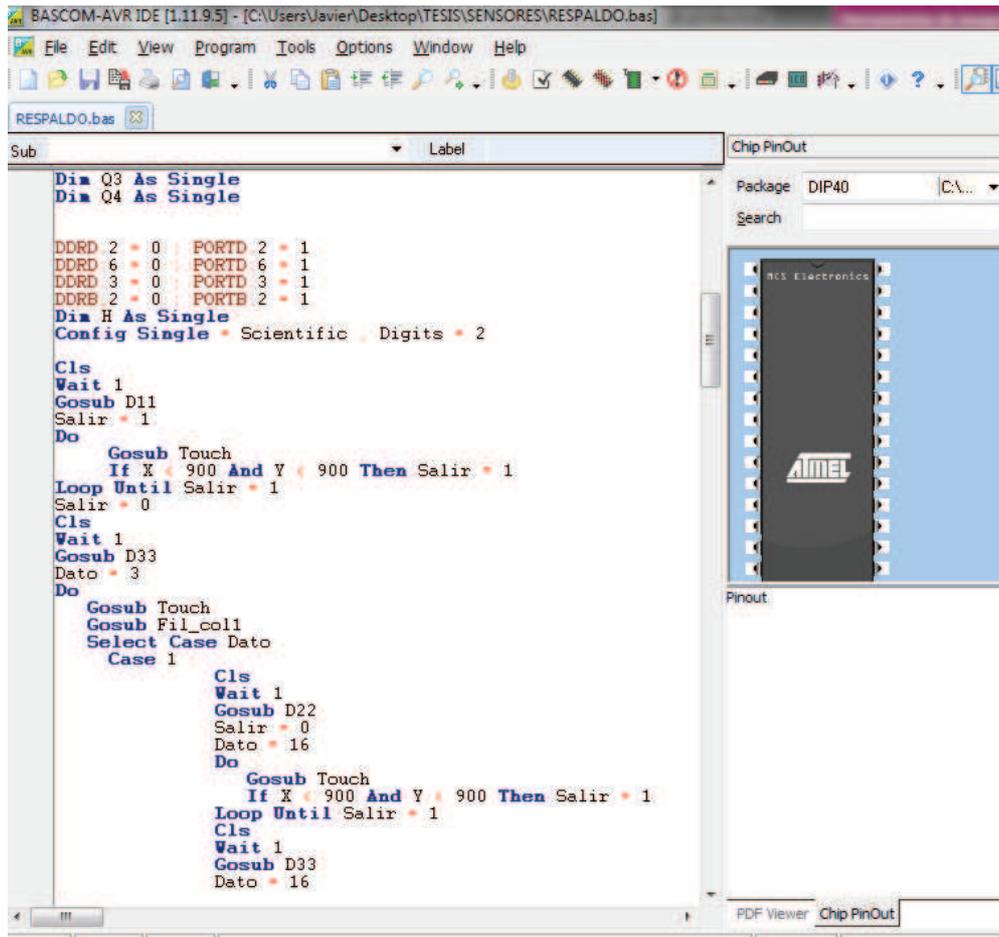


Figura 38 Captura de código de programación y programa

5.7. CONSTRUCCIÓN.

Construcción de la Tarjeta electrónica

Para la construcción de dicha tarjeta electrónica contamos con la colaboración de profesionales con experiencia en el área de programación y circuitos electrónicos de control y monitoreo.

Tabla 22 Detalles de construcción de tarjeta electrónica

Razón Social	Dirección	Descripción	Valor
APM All Power Microcontroller	Av. Colón OE3-31 y Versalles Local	Diseño y construcción de la Tarjeta electrónica	300.00

Los elementos para el diseño eléctrico electrónico de la tarjeta fueron previamente seleccionados y adquiridos para la correcta operación de la misma.

Tabla 23 Componentes del sistema electrónico

#	descripción	referencia	elemento	función	imagen
1	MICROCONTROLADO R	U1	ATMEGA16	procesamiento	
2	RESISTENCIA	R2	4.7	resistor	
3	RESISTENCIA	R3	100	resistor	
4	RESISTENCIA	R4	100	resistor	
5	RESISTENCIA	R5	100	resistor	
6	RESISTENCIA	R6	100	resistor	
7	RESISTENCIA	R1	10k	resistor	
8	CRISTAL	X1	XTAL18	contador	
9	CAPACITOR	C3	1nF	condensador	
10	CAPACITOR	C4	1nF	condensador	
11	CAPACITOR	C1	1000u	condensador	
12	CAPACITOR	C2	100u	condensador	
13	BORNERA	T1	TBLOCK-M2	terminales de bloque	
14	BORNERA	T2	TBLOCK-M2	terminales de bloque	
15	BORNERA Q1	J2	TBLOCK-I3	terminales de bloque	
16	BORNERA Q2	J3	TBLOCK-I3	terminales de bloque	
				Continuación tabla 23	→



Figura 41 Conexión tarjeta electrónica con pantalla LED

5.8. PROCEDIMIENTOS BÁSICOS PARA EL MONTAJE.

Para el montaje del sistema en la unidad realizamos adaptaciones mecánicas y eléctricas para los sensores en los diferentes puntos críticos seleccionados.

Las adaptaciones las realizamos mediante conexiones y accesorios en bronce y en hierro galvanizado nos permiten tener un funcionamiento y entradas adecuadas para los sensores que utilizamos.



Figura 42 Adaptaciones varias



Figura 43 Adaptaciones alimentación de agua

Para las conexiones roscadas se utilizó teflón además de sellante para evitar posibles fugas.

Para la adaptación de las termocuplas se utilizaron accesorios y conexiones en plástico para evitar posibles fallas por estática.

A continuación se detalla los accesorios y elementos utilizados para las adaptaciones realizadas.

Tabla 24 Detalle de accesorios y elementos para adaptaciones.

ITEM	DESCRIPCION	CANT
1	SILICON	1
2	TEFLON AMARILLO 1/2"	1
3	ADAPTADOR MACHO 1/8" X 5/16"	1
4	CONECTOR HEMBRA 3/16" X 1/8"	1
5	BUSHING BRONCE 3/4" X 1/2"	2
6	ADAPTADOR MACHO 1/2" X 1/2"	2
7	ADAPTADOR MACHO 1/2" X 5/16"	2
8	REDUCTOR 3/4" X 1/2" H.G	3
9	NEPLO 1/2" X 3" H.G	1
10	NEPLO 3/4" X 3" H.G	1
11	MANGUERA ATOXICA 1/2" PARA 275 PSI	1,2
12	BUSHING BRONCE 3/4" X 1/4"	2
13	MANGUERA PLASTICA TRANSPARENTE 1"	1
14	MANGUERA POLIURETANO 4 X 2	1
15	CONECTOR 1/2 " X 10 mm	1
16	ADAPATADOR FLEX 1" PLASTIGAMA	1
17	UNION REDUCTORA 1"X 1/2"	1
18	ABRAZADERA CREMALLERA 1-1/2"	2
19	ADAPTADOR HEMBRA 1/4" X 1/4"	2
20	ORING	1
21	NEPLO 1/2" X 5 CM H.G	1
22	TAPON MACHO 1/2" H.G	1
23	UNIVERSAL 1/2" H.G	1
24	UNIVERSAL GALVANIZADA 1/2"	1
25	CABLE ESPIRAL NEGRO	1
26	SILICON ABRO 1000 40 ML	1
27	TORNILLO AUTOROS C/MIX 2" X 8	1
28	ADAPTADOR FLEX 1/2"	1
29	CODO POLIPR. CACHIMBA 1/2" X 90	2

Continuación tabla 24 →

ITEM	DESCRIPCION	CANT
30	NEPLO POLIPR. CORRIDO 1/2"	1
31	TAPON ROSCABLE H 1/2"	1
32	UNION POLIPR. 1/2"	1
33	UNION FLEX 1/2"	1
34	PERMATEX 1.1/2" OZ. 1A	1
35	TUBO ANILLADO FELX 3/4" PLG NEGRA C/M	1
36	CAJETIN METAL RECRANGULAR PROFUND C24	1
37	AMARRACABLES 8" X 2,5 MM BLA C/100D A1-2,5	1
38	CABLE GEMELO	3
39	ABRAZADERA CREMALLERA 1/2"	10
40	MANGUERA TEJIDA PARA ALTA PRESION 1"	3
41	ACOPLES DE LLAVE A MANGUERA 3/4" A 1/2"	1
42	ACOPLES DE LLAVE A MANGUERA 3/4" A 3/8"	1

Teniendo en cuenta las adaptaciones realizadas debemos tomar en cuenta la dirección en la que colocamos los sensores así como la ubicación que van a tener.

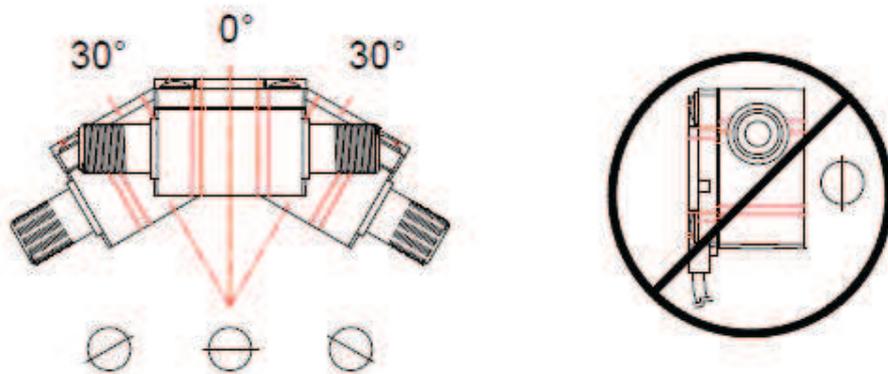


Figura 44 Descripción grafica de posicion para sensor de caudal

Hay que tomar en cuenta que todas las conexiones eléctricas de los sensores se las colocó en un área accesible para que puedan ser llevadas a la tarjeta electrónica y está a la pantalla de salida sin ningún problema.

Se colocó una caja metálica al costado de la unidad la cual contiene tanto la tarjeta electrónica como la pantalla GLED.



Figura 45 Ubicación pantalla LED

5.9. PRUEBAS.

Las Pruebas las realizamos al tener el sistema repotenciado en funcionamiento, a continuación se detallan los datos de las pruebas realizadas por dos operadores y la toma de diferentes datos.

Tabla 25 Pruebas con el sistema electrónico en marcha

prueba	op	C gas (kg/h)	C aire (kg/h)	C agua (kg/h)	ent agua(K)	ent aire(K)	sal agua(K)	P (Kpa)	sal gases(k)
1	1	7,9	129,4	1245	290	306	49	77,5	883
2	2	8,35	125,5	1255	290	306	51	77,5	883
3	1	7,78	129,4	1255	290	306	50	77,5	883
4	2	7,69	125,5	1245	290	306	49	77,5	883
5	1	8,56	125,5	1255	290	306	50	77,5	883
6	2	8,12	129,4	1255	290	306	50	77,5	883
total	1	8,07	127,45	1251,67	290	306	49,8	77,5	883

Podemos ver que las variaciones de prueba a prueba son mínimas, esta es la ventaja de tener un sistema digital de adquisición de datos, sin importar el operador de la unidad los resultados no varían de una manera significativa que pueda afectar los resultados de la práctica.

Además podemos ver que los resultados obtenidos en la toma de temperatura y presión son más precisos dándonos datos más reales para cálculos más exactos en los estudios que se pueden realizar con la unidad de combustión como lo vamos a realizar más adelante.

CAPÍTULO 6 ADQUISICIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS

6.1. EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS

Cromatógrafo de Gases



Figura 46 Cromatógrafo de Gases testo 250 xl

La cromatografía es el nombre que se le da al grupo de técnicas utilizadas en el análisis de gases productos de combustión u otros procesos físicos se basa en la separación de componentes de las mezclas y en la purificación de los compuestos,

En nuestro caso utilizamos el cromatógrafo de gases para comprobar la relación aire combustible y poder obtener una relación lo más cercana a la

estequiometria, con esto podemos comparar las diferencias entre datos que se obtienen al variar dicha mezcla.

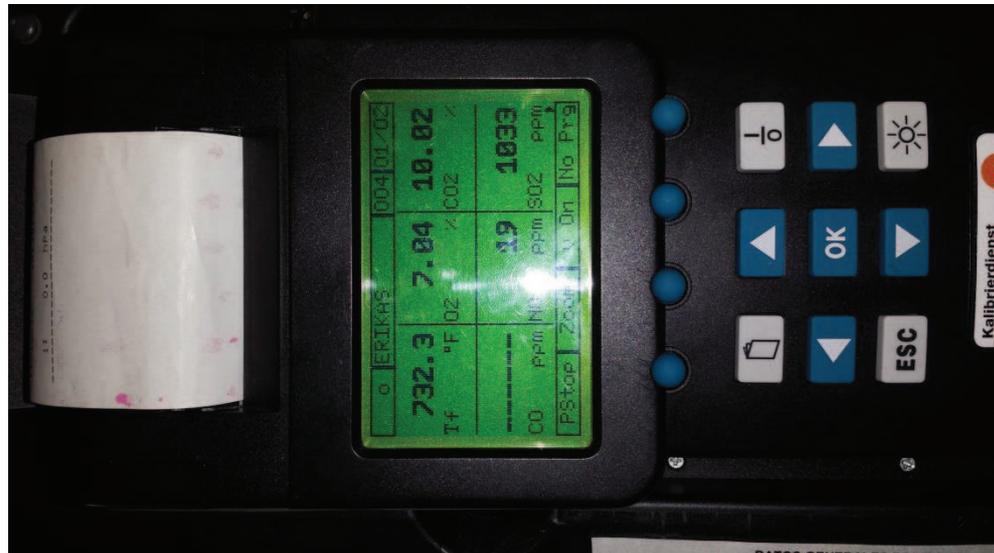


Figura 47 Toma de muestras de Gases en la unidad

Estos datos nos sirven para el posterior análisis y control de las emisiones que se dan en la unidad de combustión.

Cámara Termografica



Figura 48 Cámara Termografica fluke Ti23

Fluke Ti25

La cámara termográfica nos permite obtener perfiles de temperatura de una manera simple y precisa, en nuestro caso nos sirve para poder validar los resultados de las prácticas que se van a realizar posteriormente.

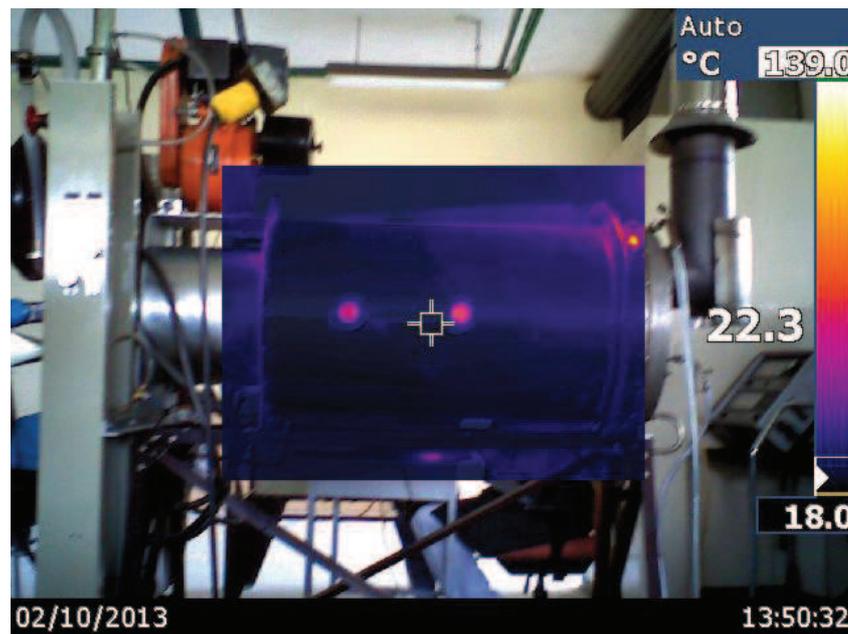


Figura 49 Imagen Termo gráfica de la unidad de combustión

6.2. ACOPIO Y VALIDACIÓN DE DATOS

Se analizo varios datos que se tomaron por parte de los operadores tanto analógicamente como digitalmente para poder comparar y obtener los errores que tenemos entre los dos sistemas.

Análogos

Tabla 26 Promedio de datos con Sistema analógico

C gas(kg/h)	C aire (kg/h)	C agua(kg/h)	ent agua (K)	ent aire(K)	sal agua (K)	P (Kpa)	sal gases (k)
8,500	135,000	1200	291	306	313	75	883

Digitales

Tabla 27 Promedio de datos con sistema electrónico

C gas(kg/h)	C aire (kg/h)	C agua (kg/h)	ent agua(K)	ent aire (K)	sal agua (K)	P (Kpa)	sal gases (k)
8,060	127,450	1250	291	306	323	77,75	883

Tabla 28 Errores porcentuales de toma de datos

Errores

sensor	analógico	digital	errores %
C gas (kg/h)	8,500	8,060	5,18
C aire (kg/h)	135,000	127,450	5,59
C agua (kg/h)	1200	1250	4,17
presión kpa	75	77,75	3,67

6.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y CALIBRACIÓN.

Las pruebas de funcionamiento y calibración las realizamos para asegurar el buen funcionamiento del sistema modernizado, para minimizar los errores y permitir al usuario tener valores más exactos.

La calibración la realizamos en cada línea de alimentación asegurándonos primero el buen funcionamiento de los sensores mediante señales eléctricas y pulsos que arrojan estos.

Para cada sensor se realizó la calibración necesaria con sus manuales de operación para el sistema electrónico la cual vamos a detallar a continuación

Línea de alimentación de aire

Se tomó datos de pulsos relacionados con datos del manual de fabricante de la unidad así como el manual de fabricante del sensor para la línea de alimentación de aire

Datos

Tabla 29 Calibración sensor de aire

caudales	pulsos
50	31
110	21
170	6

Ecuación de linealización

$$-0,08x^2 - 1,84x + 183,92$$

Ecuación 17 Linealización sensor de aire

Línea de alimentación de agua

Para la línea de alimentación de agua se tomó datos consecutivos en caudales conocidos según los parámetros de funcionamiento de la maquina comparándolos con los arrojados por el sensor tomando en cuenta las características y su manual de operación.

Datos

Tabla 30 Calibración sensor de agua

C digital	C analógico
0	0
300	265
400	362
500	462
600	590
700	680
800	778
900	886
1000	993
1100	1121
1200	1235
1250	1282

Ecuación de linealización.

$$-0,0001x^2 + 0,8998 x - 3,4979$$

Ecuación 18 Linealización sensor de agua

Línea de alimentación de gas

Se realizó la calibración tomando datos de cada uno de los rangos de flujos en los que vamos a trabajar comparándolos con los pulsos arrojados por el sensor y tomando en cuenta su manual de operación.

Datos

Tabla 31 Calibración sensor de gas

caudal	pulsos
5,1	46
5,3	54
7	72
7,4	85
9	93
9,6	110

Ecuación de linealización

$$-0,3746x^2 + 18,299x - 35,029$$

Ecuación 19 Linealización sensor de gas



Figura 50 Unidad de combustión Repotenciada

6.4. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

MANUAL DE OPERACIÓN

Revisiones antes de operar:

1. Conectar la pantalla LED a la alimentación eléctrica.
2. Asegurar que haya suficiente combustible (gas y/o líquido) para el experimento programado.
5. Verificar el suministro de agua a la cámara y al tomador de muestra. Se recomienda un flujo inicial de agua 1200 Kg/hr.

6. Con la válvula de control de aire cerrada (posición N°1 en la escala), arrancar el ventilador hasta que alcance su velocidad de régimen. Abrir lentamente la válvula de control de aire y dejarla totalmente abierta (Posición N° 8) durante un lapso de dos minutos de tal forma de desalojar posibles gases residuales de experiencias anteriores.

7. Chequear que la bujía de encendido este en la posición correcta y se produzca a chispa (de ocurrir esto llamara al técnico).

PROCEDIMIENTO DE ENCENDIDO (Encendido con gas propano)

1.- Verificar todos los pasos correspondientes a la sección antes de operar”.

2.- Regular el flujo de agua a 1200Kg/hr.

3.- Abrir el agua de refrigeración para la sonda toma muestras.

4.-Encender la alimentación eléctrica del panel de control

5.-Regular el flujo de aire a 100-110Kg/hr.”

6.- Encender el botón switch on reset.

7.-Establecer la temperatura de salida de agua no menor a 60 grados centígrados.

8.-Presionar el botón para resetear la máquina.

9.-Una vez encendido el indicador luminoso oprimir el botón de ignición y a la vez se abre la válvula de control de Gas (situada en el panel) en forma lenta hasta conseguir el encendido.

10.-La válvula de control se ha de abrir hasta que se obtenga una combustión estable; esto se consigue con un flujo aproximado de 6-10 Kg/hr de Gas. Para el flujo de aire del paso 4 se recomienda 4 Kg/hr de flujo de gas, tan solo para encenderlo y una vez estabilizada la combustión mantener el flujo de 6 a 7 Kg/hr.

PRECAUCIONES:

Con la línea de agua abierta abrir siempre la válvula probe water control.

Verificar la temperatura de salida de agua no menor a 60 grados centígrados.

Presionar el botón igniton solo cuando el indicador luminoso este encendido.

Se recomienda que la temperatura de salida de los gases debido a la combustión sea menor de 700°C.

En caso de fallo de llama o no conseguir la combustión cerrar la válvula de control de gas.

Dejar purgar la cámara durante dos minutos y verificar el estado de la bujía de ignición, si esta se encuentra en buen estado reiniciar el procedimiento de encendido.

OPERACIÓN CON COMBUSTIBLE LÍQUIDO (Diesel)

1.- Se realizan todos los pasos de la sección de “encendido por gas”, con lo que tendremos una combustión estable.

2.- Se abre la válvula de control de Diesel (situada en el panel) en forma lenta y en forma simultánea se va cerrando la válvula de control de gas (también en el panel) cuidando que la combustión no se interrumpa.

3.-La válvula de control de Diesel se ha de abrir hasta lograr una combustión estable.

4.- Si la combustión se interrumpe, cerrar inmediatamente las válvulas de control de combustible. Dejar funcionando el ventilador durante dos minutos de tal forma de desalojar los gases residuales, procediendo luego a reiniciar todo el proceso de encendido.

INSTRUCCIONES DE PARADA

1.- Cerrar la válvula de combustible del panel.

2.- Cerrar las válvulas de suministro en la tubería principal.

3.- Dejar funcionar el ventilador por dos minutos para la cámara, colocando la palanca de control de flujo de aire en la posición 8.

4.- Parar el ventilador y luego colocar la palanca de control de flujo de aire en la posición 1.

5.- Cortar el suministro eléctrico.

6.- Dejar correr el agua de refrigeración por espacio de 5 minutos y luego cerrar la válvula.

MANUAL DE MANTENIMIENTO UNIDAD DE COMBUSTIÓN CONTINUA

Tabla 32 Tabla de diagnóstico de mantenimiento

Línea de Producción: Prácticas de Laboratorio		Nombre la maquina: Unidad de Combustión Continua Hilton	No.		
No.	PARÁMETRO DE CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN	CATEGORIA		
			A	B	C
1	INTERCAMBIABILIDAD	Única máquina de combustión continua en los Laboratorios	X		
2	RÉGIMEN OPERACIÓN	Se realizaran practicas esporádicas			X
3	NIVEL DE UTILIZACIÓN	Capacidad utilizada solo parte de la jornada laboral		X	
4	PARÁMETRO CARACTERÍSTICO	Combustión continua de una mezcla de aire combustible líquido/gaseoso	X		
5	MANTENIBILIDAD	Mantenibilidad media		X	
6	CONSERVABILIDAD	Opera bajo condiciones normales, pero se deben controlar los parámetros		X	
7	GRADO DE AUTOMATIZACIÓN	Manual monitoreada mediante un touch panel		X	
8	VALOR ACTUAL DE LA MÁQUINA	Posee un alto valor actual ya que es un equipo repotenciado	X		
9	FACILIDAD DE APROVISIÓN	Posee asegurado un inventario de sus componentes para la mezcla		X	
10	SEGURIDAD OPERACIONAL	Peligrosidad reducida, teniendo en cuenta precauciones y parámetros de uso		X	
11	CONDICIONES DE EXPLOTACION	Opera favorablemente bajo cualquier condición mientras se tenga recursos			X
12	APECTACIO AL MEDIO AMBIENTE	CO, CO2 gases de combustión		X	
TOTALES			3	7	2
POLÍTICA DE MANTENIMIENTO		Sistema Centrado en: EL PREVENTIVO	MPd	MP	MC

Implementación de Mejoras

Se ha implementado sensores de caudal, presión y termocuplas que mediante microcontroladores y programación nos muestra en un touch panel todas las variables necesarias, teniendo así un monitoreo de datos en tiempo real más exacto.

Programa de Mantenimiento Preventivo

Después de cada jornada práctica se realizaran inspecciones rutinarias y acciones de mantenimiento

- **Mantenimiento Diario**

Al terminar la práctica se purgara la cámara de observación, dejando el soplante prendido para eliminar presencia de combustible gaseoso en su interior.

De la misma forma el sistema de refrigeración quedara abierto hasta q la temperatura del equipo se estabilice con la temperatura del ambiente.

Después de cada rutina practica se cortara el suministro de energía de la unidad, tanto su enchufe como de breakers.

- **Mantenimiento Semanal**

Se realizara un drenaje de condensado de agua debido a la combustión, presente dentro de la cámara de observación de la Unidad.

- **Mantenimiento Mensual**

Cámara de Observación y Mirillas

Se realizara una limpieza de la envolvente interior liberando de hollín a la superficie.

Operación

- Desenroscar las dobles tuercas y sujetadores.
- Retirar mirilla de vidrio y empaque.
- Utilizar un paño húmedo para limpiar su interior y las mirillas de vidrio.
- Montar empaque y mirilla.
- Ajustar las dobles tuercas hasta que hagan total contacto superficial con el vidrio sin apretarlas demasiado.

Advertencia

Realizar esta limpieza únicamente cuando el equipo se encuentre a temperatura ambiente.



Figura 51 Mantenimiento Cámara de Observación y Mirillas

Sonda toma muestras

Operación

- Desenroscar la tuerca de seguridad.
- Retirar la sonda toma muestras teniendo cuidado con la trayectoria y forma de la misma.
- Limpiar con un paño húmedo toda su superficie.
- Volver a montar la sonda alineando su posición con el indicador de la misma a la caratula de la parte posterior de la Cámara de observación.

Soplante de 3 Etapas

Operación

- Desenroscar la perilla sujetadora.
- Extraer filtro y carcasa.
- Mediante un compresor de aire limpiar el filtro de manera tangencial desde su interior hacia afuera para eliminar impurezas.
- Montar nuevamente filtro y carcasa ajustándolas hacia la perrilla sujetadora,
- Verificar sujeciones de anclaje del soplante a su placa base.
- Inspeccionar conexiones eléctricas.

- **Mantenimiento Semestral**

Realizar una inspección general del equipo.

Verificar el estado de la Cámara de Observación

Verificar el estado de todas las líneas de alimentación para evitar fugas en las mismas.

Ajustar conexiones y accesorios.

Línea de Combustible Gaseoso

Inspeccionar fugas y conexiones de toda la línea.

Verificar regulador de presión de gas calibrando su medida entre 30 y 40 psi.

Comprobar la cantidad de gas existente en los tanques mediante una balanza.

Pulmón regulador de combustible gaseoso

Operación

- Desmontar el pulmón de la línea de combustible, desenroscado las tuercas de los pernos de sujeción de la base.
- Quitar tapa superior.
- Desmontar sus componentes internos: placa de ajuste, placa base de resorte y resorte
- Limpiar con un compresor de aire el diafragma del pulmón así como su entrada y salida.
- Colocar nuevamente sus componentes internos.

- Enroscar la placa de ajuste aproximadamente 8 líneas de rosca.
- Montar pulmón a la línea, verificando conexiones y ajustes de las abrazaderas cremallera para evitar fugaz.

Nota

Verificar que las válvulas de paso tanto de los tanques como de la línea se encuentren cerradas.



Figura 52 Mantenimiento Pulmón Regulador de Presión

- **Mantenimiento Anual**

Válvula solenoide

Operación

- Cerrar la línea de alimentación de combustible.

- Desmontar las válvulas solenoides de las líneas.
- Retirar Carcasa y Bobina.
- Limpiar componentes internos.
- Ensamblar y ajustar componentes.
- Verificar accionamiento del vástago a corriente directa.
- Montar válvulas a las líneas.



Figura 53 Mantenimiento de válvulas solenoides

Conexiones eléctricas

Retirar cable de energía de la bujía de ignición.

Abrir el panel de control

Verificar mediante un milímetro continuidad y voltaje en los diferentes componentes de control.

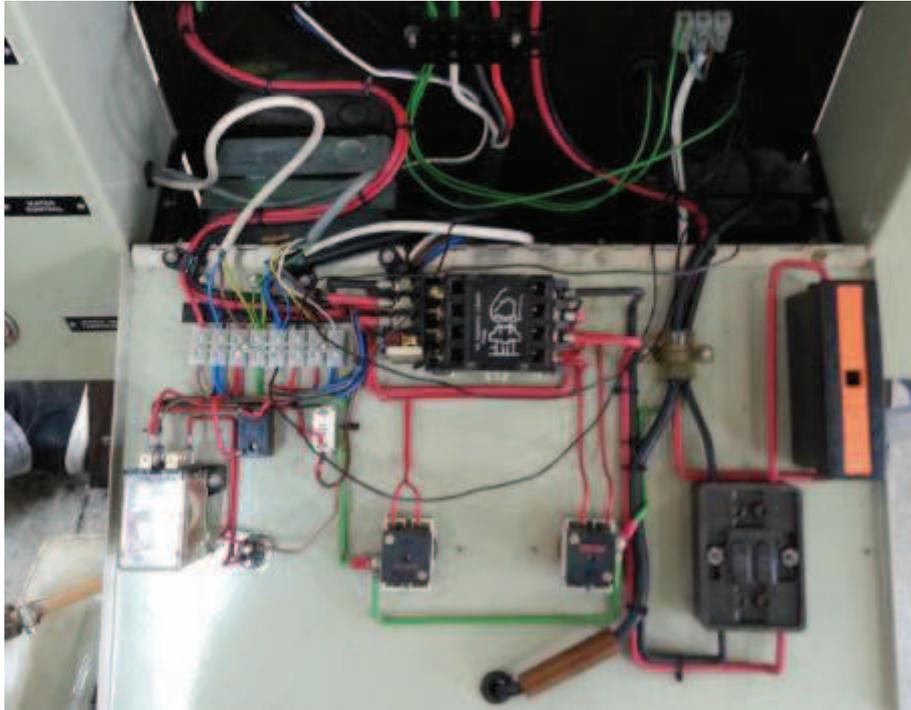


Figura 54 Mantenimiento conexiones eléctricas

RECOMENDACIONES

Recuerde, haga de su programa de mantenimiento preventivo un programa activo, revisando su plan constantemente, cada vez que obtenga los reportes del progreso debe revisar y ajustar su plan.

Si su programa no parece avanzar, a través de las metas que propuso, entonces ajuste sus metas, conduciendo una revisión detallada de todos los

programas y realice los ajustes necesarios para llevar su programa por un buen camino.

Otro consejo de valor:

"PLANEE SU TRABAJO Y TRABAJE CON SU PLAN"

Si sólo adiciona un poco de las recomendaciones -no espere poder ejecutar su plan de mantenimiento preventivo en forma correcta-, por otra parte, no podrá prever todos los imponderables; digamos que cada vez que cambie el programa de producción su plan de mantenimiento preventivo necesitará algunos ajustes.

6.5. ELABORACIÓN DE PRÁCTICAS

Las aplicaciones para las cuales está destinada la unidad de combustión continua son muy amplias por esto se decidió desarrollar una práctica que contenga todas las variables críticas que se han venido trabajando durante el desarrollo de este proyecto.

Balance de Energía a presión constante con gas propano relación A/C=

15.6

FUNDAMENTO TEÓRICO

Introducción

El rango de uso de la unidad de instrucción HILTON es extenso, desde una prueba simple pero efectiva para operarios de caldero, hasta desarrollo de proyectos e investigaciones.

Balance de energía

Teniendo en cuenta que el calor es una forma de energía capaz de transformarse en otras formas de energía. El balance de energía nos proporciona un medio para determinar la eficiencia de la combustión y los diferentes calores cedidos.

El calor liberado por el combustible al quemarse en la Cámara de combustión será cedido de diferentes maneras

- 1.- Calor cedido al agua de refrigeración que circula por la camisa de la Cámara.
- 2.- Calor cedido a los gases de escape que se van por la chimenea.
- 3.- Calor que se pierde por radiación, convección y otras pérdidas.

PROCEDIMIENTO PARA LA EXPERIENCIA

- 1.- Se enciende la unidad de acuerdo a las instrucciones.
- 2.- Se escoge un flujo de combustible (Propano). Se recomienda que sea de 8 Kg/hr.
- 3.- Para el primer balance se recomienda un flujo de aire de 125 Kg/hr. Para tener un pequeño exceso de aire con una relación de aire combustible cercana a la estequiométrica ($r_{a/c}=15.6$).

4.- El flujo de agua debe ser tal, que la temperatura de salida de agua sea aproximadamente 50° C.

5.- Para estas condiciones se toman todas las lecturas que se indican en la tabla de datos.

DATOS

Tabla 33 Variables práctica

C gas (kg/h)	C aire(kg/h)	C agua(kg/h)	T ent agua(K)	T ent aire(K)	Tsal agua(K)	Presión (Kpa)	Tsal gases(k)
8,070	127,450	1250	291	306	323	77,75	883

Tabla 34 Temperaturas de ignición de combustibles

Temperatura de ignición de combustibles	
Queroseno	260 C
Gasolina	390 C
Fuel-oíl pesado	407 C
Carbón	455 C
Propano	857 C
Gas natural	538 C
Hidrogeno	590 C

Tabla 35 Condiciones de trabajo

comp aire	Masa	Tiempo (min)	T de llama(K)
21%O	2,230	5,000	1130
78%N	8,284		

Tabla 36 Masas de gas, aire y agua

Masa gas (kg)	Masa aire (kg)	Masa agua (kg)	cp agua (Kcal/kg*K)
0,673	10,621	104,250	1

Tabla 37 Pesos Atómicos por componente

Componente	P atm(g)
C	12
H	1
O	16
N	14

Tabla 38 Pesos por componente

c3h8	5o2	18.55N2	-----	3Co2	4h2o	18.55n2
44	32	28	-----	44	18	28

Tabla 39 Moles y Masa totales en la experiencia

moles totales	15,284	69,70	295,87	-----	45,852	61,136	295,87
total masa(g)	672,500	2230,375	8284,250		2017,5	1100,4	8284,25

Tabla 40 Cp de componentes de gases

Componente	Cp(Kcal/Kg K)
CO2	0,227
H2O vapor	0,48
N2	1,0039

PCI Propano Kcal/ Kg

11082

Tabla 41 Tabla de cálculos de masas

reacción	c3h8	5o2	18.55N2	-----	3Co2	4h2o	18.55n2
Masa	44	32	28	-----	44	18	28
moles totales	15,284	69,70	295,87	-----	45,8522	61,1364	295,87
total masa(g)	672,500	2230,375	8284,25		2017,5	1100,45	8284,25
cp(Kcal/Kg K)	-	-	-		0,227	0,48	1,039
Pci(kcal/kg)	11082						

Balance Total

Ecuación 20 Balance de Energía total

E entrada**Calor de combustión**

En nuestro caso no tenemos Calores latentes por calentamiento de Combustible y el calor por calentamiento de aire no lo consideramos para nuestros cálculos

E Salida**Calor Perdido en el agua de refrigeración****Calor perdido por los Gases de Escape**

Para los gases de escape hay que tomar en cuenta la masa total de los gases de escape que se dan en la formación de sus componentes incluyendo el vapor de agua que se forma.

$$Q_{\text{gases}} = 2369,601 \text{ kcal}$$

Hay que notar que la pérdida por la formación de los gases de escape no incluye otros gases a los vistos en la reacción de combustión que se forman en menor proporción.

La Pérdida restante que se da por sólidos inquemados (2 %) , gaseosos inquemados (3 %) y pérdidas que se dan entre las paredes de la cámara y el envolvente de la camisa de agua (2 %) y por pérdidas al ambiente (1 %, por nuestro sistema de refrigeración)

Por formación de ceniza, esta formación de ceniza equivale al 4% del calor total los demás valores no se lo calculan ya que son muy bajos comparado con los demás.

Otra de las pérdidas que constan en las

Q ceniza 4% = 298,106 kcal

Qrest =Q inq + Q inq Sol + Q amb+ Qpar + Q otro= 1344,688 kcal

Tabla 42 Cálculos

Q ent		Q sal	
Q combustible(Kcal)	7452,645	Q Co2	113,119
		Q H2O	130,470
		Q N2	2126,012
		Q gases	2369,601
		Q agua Ref	3440,250
		Q ceniza	298,106
		Q rest	1344,688
		Q inq	403,406
		Q inq sol	268,938
		Q amb	134,469
		Q par	201,703
		Q otros	336,172
total	7452,645		7452,645

Perdidas de calor

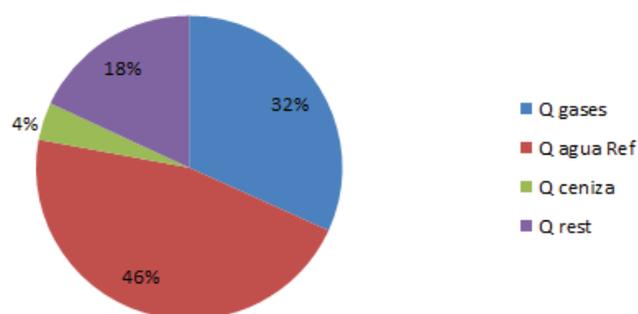


Figura 55 Perdidas de calor



Figura 56 Perdidas Restantes

6.6. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

La validación de resultados la realizamos referente a datos tomados tanto analógica como digitalmente en rangos de operación acorde y estos aplicados en la práctica realizada dándonos así una idea de cómo varían los resultados al tener una adquisición de datos digitales, y la importancia de los mismos.

Hay que tomar en cuenta que los datos analógicos la tomaron operadores basados en su apreciación referente al rotámetro o medidor analógico respectivo, mientras que los datos analógicos los tomaron los mismos operadores pero referentes a los datos digitales arrojados en la pantalla LED

Tabla 43 Validación datos análogos

Q ent	Q sal	
Q combustible(Kcal)	7849,750	Q Co2 119,147
		Q H2O 137,422
		Q N2 2251,955
		Q gases 2508,523
		Q agua Ref 2300,000
		Q ceniza 313,990
		Q rest 2727,237
		Q inq 818,171
		Q inq sol 545,447
		Q amb 272,724
		Q par 409,086
		Q otros 681,809
total	7849,750	7849,750

Perdidas de calor

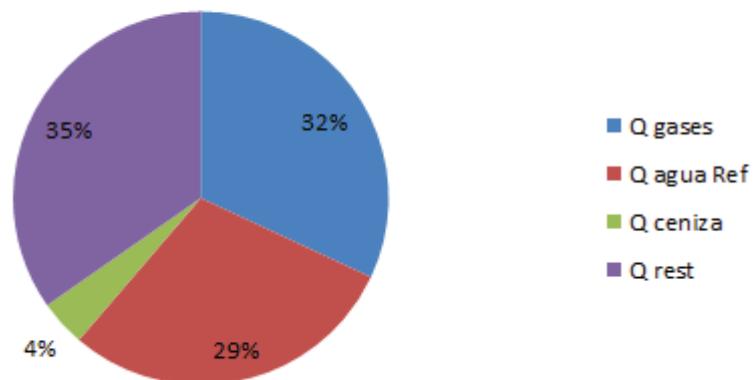


Figura 57 Pérdidas de calor datos analógicos

Digitales

Tabla 44 Validación datos digitales

Q ent	Q sal
Q combustible(Kcal)	7452,645
	Q Co2 113,119
	Q H2O 130,470
	Q N2 2126,012
	Q gases 2369,601
	Q agua Ref 3437,500
	Q ceniza 298,106
	Q rest 1347,438
	Q inq 404,231
	Q inq sol 269,488
	Q amb 134,744
	Q par 202,116
	Q otros 336,860
total	7452,645

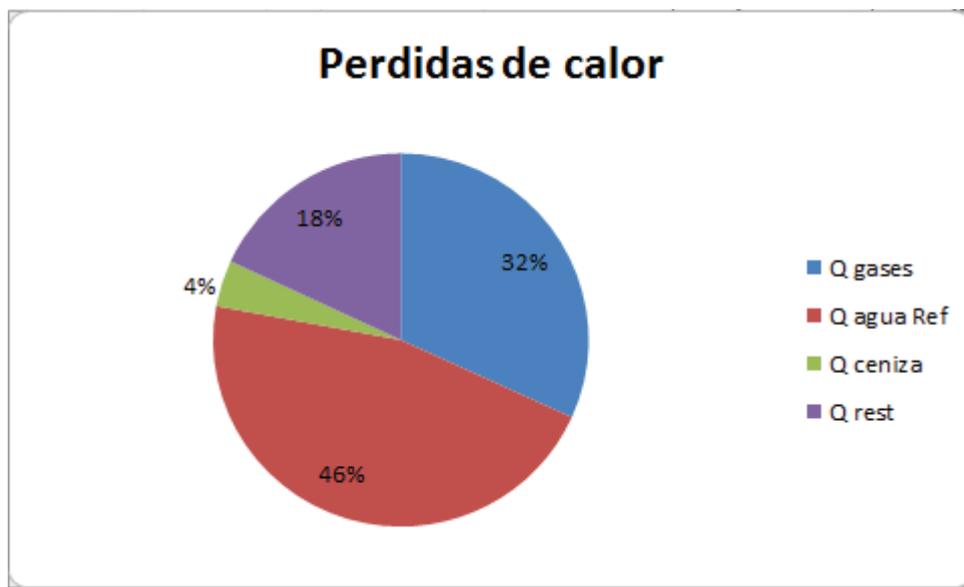


Figura 58 Pérdidas de calor digitales

Como podemos ver las variaciones de resultados son significativas debido a que al ser los mandos analógicos dependen mucho del operador que tome los datos y están sujetos a errores por paralaje y más errores que se pueden dar y variar de operador a operador, teniendo una adquisición de datos digitales podemos realizar los cálculos con mayor precisión obteniendo resultados más reales y que están dentro de un rango normal de operación para nuestra unidad de combustión.

CAPÍTULO 7 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1. COSTOS DIRECTOS.

En los costos directos tomamos en cuenta los recursos que se incorporan físicamente al proyecto final, tanto los costos que se dieron en diferentes materiales así como los costos por instrumentación. El costo directo también contempla la mano de obra que se utilizó para diferentes tareas que fueron requeridas durante el proyecto.

7.1.1. COSTOS MATERIALES.

En los costos por materiales detallamos los insumos y repuestos mecánicos que se necesitaron tanto para la recuperación, el mantenimiento y posterior modernización de la unidad.

Tabla 45 Costo de Materiales

MATERIALES					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	SILICON	1	UND	1,00	1,00
2	TEFLON AMARILLO 1/2"	1	UND	0,99	0,99
3	ADAPTADOR MACHO 1/8" X 5/16"	1	UND	2,07	2,07
4	CONECTOR HEMBRA 3/16" X 1/8"	1	UND	1,13	1,13
5	BUSHING BRONCE 3/4" X 1/2"	2	UND	3,19	6,38
6	ADAPTADOR MACHO 1/2" X 1/2"	2	UND	3,35	6,70

Continuación →
tabla 46

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
7	ADAPTADOR MACHO 1/2" X 5/16"	2	UND	2,37	4,74
8	REDUCTOR 3/4" X 1/2" H.G	3	UND	0,58	1,74
9	NEPLO 1/2" X 3" H.G	1	UND	0,47	0,47
10	NEPLO 3/4" X 3" H.G	1	UND	0,60	0,60
11	MANGUERA ATOXICA 1/2" PARA 275 PSI	1,2	MTS	2,82	3,38
12	BUSHING BRONCE 3/4" X 1/4"	2	UND	4,54	9,08
13	MANGUERA PLASTICA TRANSPARENTE 1"	1	MTS	6,38	6,38
14	MANGUERA POLIURETANO 4 X 2	1	MTS	1,09	1,09
15	CONECTOR 1/2 " X 10 mm	1	UND	1,05	1,05
16	ADAPATADOR FLEX 1" PLASTIGAMA	1	UND	0,94	0,94
17	UNION REDUCTORA 1"X 1/2"	1	UND	2,29	2,29
18	ABRAZADERA CREMALLERA 1-1/2"	2	UND	0,77	1,54
19	ADAPTADOR HEMBRA 1/4" X 1/4"	2	UND	2,50	5,00
20	ORING	1	UND	0,64	0,64
21	NEPLO 1/2" X 5 CM H.G	1	UND	0,47	0,47
22	TAPON MACHO 1/2" H.G	1	UND	0,26	0,26
23	UNIVERSAL 1/2" H.G	1	UND	1,44	1,44
24	UNIVERSAL GALVANIZADA 1/2"	1	UND	1,34	1,34
25	CABLE ESPIRAL NEGRO	1	UND	2,80	2,80
26	SILICON ABRO 1000 40 ML	1	UND	1,60	1,60
27	TORNILLO AUTOROS C/MIX 2" X 8	1	UND	0,05	0,05
28	ADAPTADOR FLEX 1/2"	1	UND	0,16	0,16
29	CODO POLIPR. CACHIMBA 1/2" X 90	2	UND	1,54	3,08
30	NEPLO POLIPR. CORRIDO 1/2"	1	UND	0,29	0,29
31	TAPÓN ROSCABLE H 1/2"	1	UND	0,29	0,29
32	UNIÓN POLIPR. 1/2"	1	UND	0,39	0,39
33	UNIÓN FLEX 1/2"	1	UND	0,13	0,13
34	PERMATEX 1.1/2" OZ. 1A	1	UND	1,98	1,98
35	TUBO ANILLADO FELX 3/4" PLG NEGRA C/M	1	UND	0,26	0,26

Continuación
tabla 46 →

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
36	CAJETIN METAL RECRANGULAR PROFUND C24	1	UND	0,76	0,76
37	AMARRACABLES 8" X 2,5 MM BLA C/100D A1-2,5	1	UND	3,00	3,00
38	CABLE GEMELO	3	MTS	0,18	0,54
39	ABRAZADERA CREMALLERA 1/2"	10	UND	0,40	4,00
40	MANGUERA TEJIDA PARA ALTA PRESIÓN 1"	3	MTS	8,00	24,00
41	ACOPLES DE LLAVE A MANGUERA 3/4" A 1/2"	1	UND	1,10	1,10
42	ACOPLES DE LLAVE A MANGUERA 3/4" A 3/8"	1	UND	0,98	0,98
43	TANQUES PROPANO 45 KG	3	UND	15,00	45,00
				SUBTOTAL	151,13
				IVA	18,14
				TOTAL	169,27

7.1.2. COSTOS INSTRUMENTACIÓN.

Los costos por instrumentación contemplan todos los sensores y demás accesorios electrónicos y eléctricos que se necesitaron durante la etapa de modernización.

Tabla 46 Costos de instrumentación

COSTOS DE INSTRUMENTACION					
ITEMS	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	ATMEGA 644	1	UND	9,75	9,75
2	AD595A	2	UND	18,24	36,48
3	LM7805	2	UND	0,40	0,80
4	LM7812	2	UND	0,40	0,80
5	BORN 2P	10	UND	0,21	2,10
6	CE 1000UF/50V	4	UND	0,42	1,68
7	CE 100UF/16V	4	UND	0,11	0,44
8	BORN 3P – VE	2	UND	0,31	0,62
9	SENSOR DE FLUJO 1-60 LT/MIN	4	UND	57,90	231,60
10	SENSOR DE FLUJO 0,8-8 LT/MIN	2	UND	51,30	102,60
11	TERMOCUPLA TIPO K	2	UND	24,60	49,20
12	SENSOR MPX10 PRESIÓN	1	UND	49,80	49,80
13	GLCD TOUCH SCREEN 240x128 VE	1	UND	130,00	130,00
14	FUENTE VARIABLE DE VOLTAJE	1	UND	30,00	30,00
				SUBTOTAL	645,87
				IVA	77,50
				TOTAL	723,37

7.1.3. COSTO MANO DE OBRA.

El costo por mano de obra contempla todos los procesos que se necesitaron para el correcto desarrollo del proyecto tanto en la parte mecánica, eléctrica y electrónica

Tabla 47 Costos de mano de obra

COSTO MANO DE OBRA				
ITEM	DESCRIPCIÓN / PROCESO	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	SOLDADURA BLANDA Y LIMPIEZA DE SONDA	1	80,00	80,00
2	TORNO Y FABRICACIÓN DE BUGES	3	15,00	45,00
3	CONSTRUCCIÓN/PROGRAMACIÓN TARJETA ADQUISICIÓN DE DATOS	1	300,00	300,00
4	VIDRIO CORTE/PULIDA 15 CM X 6 LINEAS	5	10,00	50,00
5	TEMPLADO DE VIDRIO 700°C	2	15,00	30,00
			TOTAL	505,00

COSTO TOTAL DIRECTO	1397,64
---------------------	----------------

7.2. COSTOS INDIRECTOS.

En los costos indirectos tomamos en cuenta todos los recursos que participan en el proyecto; pero que no se incorporan físicamente a la unidad. Estos Costos están vinculados al periodo productivo del proyecto más no a su funcionamiento posterior.

Tabla 48 Costos indirectos

ITEM	DESCRIPCION	HORAS	PRECIO POR HORA	PRECIO TOTAL
1	REMUNERACIÓN INGENIERÍA	400	4	1600
2	ASESORAMIENTO ELÉCTRICO	5	20	100
3	ASESORAMIENTO ELECTRÓNICO/PROGRAMACIÓN	10	20	200
4	ALQUILER CROMATÓGRAFO DE GASES	1	40	40
5	ALQUILER CÁMARA TERMOGRÁFICA	3	20	60
6	ASESORAMIENTO INTERNO TUTORIAS	100	10	1000
			TOTAL	3000

Inversion Total = Costos Directos + Costos Indirectos

$$IT = 1397,64 + 3000$$

$$IT = 4397,64$$

7.3. ANÁLISIS ECONÓMICO.

El análisis económico detalla los ingresos y egresos que tenemos en la totalidad del proyecto así como los diferentes parámetros que debemos tener en cuenta para el proyecto y su posterior funcionamiento.

Análisis Económico

Costo real por Crédito sin subsidio = 100,00

Cantidad de Prácticas en la Asignatura = 10

$$\text{Costo Real por Práctica en Laboratorio} = \frac{100}{10} = 10.00$$

Tabla 49 Materias Relacionadas

Materias	Créditos Clase	Créditos Laboratorio
Transferencia de Calor	5	1
Termodinámica Aplicada	5	1
Termodinámica	5	1

Periodos por Año

= 2 Semestre al año por Asignatura

Tabla 50 Cursos por materia

Materias	Cursos
Transferencia de Calor	2
Termodinámica Aplicada	2
Termodinámica	2
Total	6

Paralelos por asignatura

= 2

6 x 2 = 12 Materias

Cursos de Otras Universidades u Postgrados por año

Aproximadamente 8

Total Materia - Curso año = 20

Cantidad de Estudiantes por Curso/Materia

Aproximadamente 25

Ingreso

Ingreso = *Créditos Laboratorio * Materia Curso – año*

** Cantidad de Estudiantes * Costo Real por Práctica en Laboratorio*

$$\text{Ingreso} = 1 * 20 * 25 * 10$$

$$\text{Ingreso} = 5000$$

Egreso

Mantenimiento Anual

Aproximadamente

$$= 600$$

Depreciación

Depreciación = 20% de Inversion Total

$$\text{Depreciación} = 0,20 * 4397,64$$

$$\text{Depreciación} = 879,53$$

Operación Anual

Aproximadamente

$$= 600$$

Gastos Generales Anuales

- Agua
- Luz
- Combustible Gaseoso
- Combustible Líquido

Aproximadamente = 600

Egreso = C. Mant + Depreciación + Operacion + Gastos Generales

$$\text{Egreso} = 600 + 879,53 + 600 + 600$$

$$\text{Egreso} = 2679,53$$

7.4. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero nos detalla los valores de retorno a la inversión así como de valor actual neto del presente proyecto lo cual da sustentabilidad al mismo.

Beneficio

$$\text{Beneficio} = \text{Ingreso} - \text{Egreso}$$

$$\text{Beneficio} = 5000 - 2679,53$$

$$\text{Beneficio} = 2320,47$$

Flujo de Caja

TMAR = 12%

Tabla 51 Resumen costos

COSTO TOTAL DIRECTO	1397,64
COSTO TOTAL INDIRECTO	3000,00
INVERSION	4397,64
INGRESO	5000,00
EGRESO	2679,53
BENEFICIO	2320,47

Tabla 52 Análisis financiero

AÑO	DESEMBOLSO	BENEFICIOS	MOVIMIENTOS DE FONDO	VALOR ACTUALIZADO
0	4397,64		-4397,64	-4397,64
1		2320,47	2320,47	2071,85
2		2320,47	2320,47	1849,87
3		2320,47	2320,47	1651,67
4		2320,47	2320,47	1474,70
5		2320,47	2320,47	1316,70
TOTAL	4397,64	11602,35552	7204,72	3967,14
TASA A APLICAR	12%			
VPN	3967,14			
TIR	29%			

7.5. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.

Con este análisis podemos ver el beneficio real que tenemos referente al proyecto final.

Beneficio Costo

$$\sum_{i=1}^5 \frac{B_i}{1 + \text{TMAR}^i} = 14715,13$$

$$I_t = 4350,96$$

$$B_C = \frac{\sum_{i=1}^5 \frac{B_i}{1 + \text{TMAR}^i}}{I_t}$$

$$B_C = \frac{8364,78}{4397,64}$$

$$B_C = 1,90$$

Tabla 53 Costo Beneficio

Valores Futuros	8364,78
Inversión	4397,64
B/C	1,90210636

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

- Una vez concluido el proyecto se habilito el funcionamiento de la unidad de combustión interna HILTON y se automatizo la adquisición de datos mediante una interfaz HMI, para su uso en los laboratorios del DECEM de la universidad de las fuerzas armadas – ESPE.
- Se recuperó el equipo a su estado inicial dando mantenimiento de primero, segundo, tercer y cuarto escalón, alcanzando niveles de mantenimiento que comprende, intervención de renovación, reconstrucción, reparaciones importantes y ligeras modificaciones en su estructura efectuadas por especialistas sin alterar su funcionalidad.
- Comprobamos el correcto funcionamiento de la unidad de combustión calibrándola según los estándares de fabricación y el manual de operación, y realizando pruebas.
- Se repotencio la unidad analizando puntos críticos de funcionamiento para su posterior intervención, mediante una serie de sensores adquirimos señales de cada una de las líneas de alimentación permitiéndonos acondicionarlas y procesarlas con el microcontrolador para su posterior visualización.

- Se obtuvo mejoras en el análisis térmico validando los resultados del sistema repotenciado mediante la elaboración de una práctica piloto, comparando estos resultados con resultados obtenidos de una toma de datos analógicos y aplicados a la misma práctica.
- Realizamos manuales tanto de mantenimiento como de operación para garantizar la vida útil de la unidad así como su correcto funcionamiento y operación, esto permite que los alumnos aprovechen los conocimientos que puede brindar esta unidad y las prácticas que se pueden realizar.
- Tomando en cuenta que nuestro proyecto se enfoca al ámbito de investigación y su beneficio se refleja socialmente, el análisis financiero del proyecto toma en cuenta un valor de crédito sin aranceles para poder obtener el beneficio que la Universidad podría tener al poner en funcionamiento esta unidad.
- Para la realización de este proyecto se puso en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecánica, tanto en el ámbito de investigación así como en diseño, energías y otras áreas importantes.

8.2. RECOMENDACIONES

- Para mantener el buen funcionamiento de la unidad se requiere realizar un mantenimiento periódico como se detalla en el manual de mantenimiento, así como su operación debe estar regida al manual de operación de la unidad.
- Cuando se realice prácticas en la unidad mantener el flujo agua constante durante todo el procedimiento y abrir la válvula de la sonda toma muestra para evitar danos por un exceso de temperatura.
- Para el uso de la pantalla LED siempre conectarla a la toma de alimentación eléctrica y asegurarse que tenga el volteje necesario para funcionar.
- Para el funcionamiento de la unidad asegurar que se tengan suministros necesarios en cada una de las líneas de alimentación.
- Si es que existe un fallo de llama cerrar inmediatamente el suministro de gas y dejar abierto el suministro de aire en su máxima potencia para evitar una contra explosión dentro de la cámara de combustión.
- Tomar en cuenta para los análisis térmicos que se realicen la ecuación de combustión igualada para la relación aire-combustible que estemos manejando.
- Tener cuidado con la disposición y apriete de los pernos de la mirilla posterior cuando se realice el mantenimiento.
- No manipular los sensores ni sus conexiones de manera inapropiada esto puede causar una falla en la adquisición de datos.

8.3. BIBLIOGRAFÍA

- Cengel, B. (2002). *Termodinamica*. Ciudad de Mexico: McGRAW HILL.
- Faires. (1967). *Termodinamica*. Collier McMillan.
- Frank P. Incropera, D. P. (1999). *Fundamentos de la transferencia de Calor*. Prentice Hall.
- Gomez-Senent, E. (1997). *El proyecto Diseño en ingeniería*. Valencia.
- Pita, E. G. (1991). *Principios y sistemas de refrigeracion*. Ciudad de Mexico: Limusa.
- Rabelo, E. M. (2008). *Ingeniería de Mantenimiento*. Buenos Aires: Nueva Librería.
- Raznjevic, K. (1976). *Hand book of thermodynamic tables and charts*. Michingan: hemisphere publishing corporation.
- Robert C. Reid, T. K. (1968). *Propiedades de los Gases y Liquidos*. Ciudad de México: Hispano-Americana.