



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
CONTROL DE ADMISIÓN DE AIRE, PARA DISMINUIR LAS
EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO EN
QUEMADORES DIÉSEL, DESTINADO AL LABORATORIO DE
CONTROL ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS ARMADAS ESPE-L”**

**AUTORES: CARLOS ANDRÉS BONILLA CISNEROS
BYRON DANIEL TOVAR MOLINA**

DIRECTOR: ING. FRANKLIN SILVA

CODIRECTOR: ING. WASHINGTON FREIRE

**LATACUNGA
2016**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICADO

ING. FRANKLIN SILVA (DIRECTOR)
ING. WASHINGTON FREIRE (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo **titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE ADMISIÓN DE AIRE, PARA DISMINUIR LAS EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO EN QUEMADORES DIÉSEL, DESTINADO AL LABORATORIO DE CONTROL ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L”** realizado por los señores **CARLOS ANDRÉS BONILLA CISNEROS** y **BYRON DANIEL TOVAR MOLINA**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de buen contenido científico que ayudará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, SI recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN documento empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los señores Carlos Andrés Bonilla Cisneros y Byron Daniel Tovar Molina que lo entregue a la señora ing. Katya Torres, en su calidad de Directora de la Carrera.

Latacunga, Febrero del 2016

Ing. Franklin Silva
DIRECTOR

Ing. Washington Freire
CODIRECTOR



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA**

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Nosotros,

CARLOS ANDRÉS BONILLA CISNEROS
BYRON DANIEL TOVAR MOLINA

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE ADMISIÓN DE AIRE, PARA DISMINUIR LAS EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO EN QUEMADORES DIÉSEL, DESTINADO AL LABORATORIO DE CONTROL ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L”**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Latacunga, Febrero del 2016

Carlos Andrés Bonilla Cisneros
C.C: 0502984537

Byron Daniel Tovar Molina
C.C: 0503433641



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros,

CARLOS ANDRÉS BONILLA CISNEROS

BYRON DANIEL TOVAR MOLINA

AUTORIZAMOS

A la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE ADMISIÓN DE AIRE, PARA DISMINUIR LAS EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO EN QUEMADORES DIÉSEL, DESTINADO AL LABORATORIO DE CONTROL ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Febrero del 2016

Carlos Andrés Bonilla Cisneros

C.C: 0502984537

Byron Daniel Tovar Molina

C.C: 0503433641

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado principalmente a Dios y a la Virgen María por haberme dado la salud, la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

Con mucho cariño a mis padres Byron y Gioconda por ser mis mentores principales, ejemplo de responsabilidad, humildad, trabajo y amor.

A mis hermanos Evelyn y Santiago por estas siempre presentes acompañándome en mi realización, brindándome siempre motivación y felicidad.

A mí querida familia por su apoyo incondicional.

A la memoria de Arturo, Marcelo, Ángel y Gonzalo que siguen estando presentes en mi vida por haber sido personas extraordinarias.

Daniel

Este trabajo está dedicado a todas las personas que de una forma u otra formaron parte y contribuyeron en mi formación profesional, sabiendo impartir valores y sabios conocimientos adquiridos a lo largo de la vida, pilar fundamental para hoy estar en este lugar, dedicado con mucho amor para mis padres Ángel y Guadalupe.

A mi tía Inés, por sus palabras y apoyo incondicional, por su buena voluntad, dedicado con infinito cariño.

A mis hermanos que siempre estuvieron presentes en todo este largo, camino brindando palabras de motivación y cariño.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y la Virgen María por llenar mi vida de bendiciones, y no dejarme desmayar en los momentos difíciles, por haberme permitido culminar una meta más trazada hace mucho tiempo.

A mis padres, hermanos y toda mi familia, quienes hicieron posible la culminación de mis estudios académicos, ya que con su apoyo y consejos que supieron brindarme a lo largo de todo este tiempo de preparación he logrado llegar hasta estas instancias.

A mi amigo y compañero Carlos por no desmayar en el intento y haber llegado a culminar la elaboración de este proyecto.

A mis amigos y compañeros por todos esos momentos inolvidables que quedaran grabados siempre en mi mente y por ese apoyo en los buenos y malos momentos.

Daniel

Agradezco a las personas que buscaron el bien para mí, y también agradezco a las que no, un agradecimiento en general a todos y todas que hicieron posible la culminación de mi carrera profesional.

De igual manera a mi compañero y amigo Byron por no caer ni dejar caer, por su tenacidad y constancia, por sus buenos ánimos y su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Eternamente agradecido con Ángel, Guadalupe, Inés, Ángelo.

Carlos

Nuestros agradecimientos a los ingenieros Mario Jiménez, Hernán Iturralde, Miguel Lucio, Freddy Salazar, Fausto Acuña, Wilson Sánchez, Diego Ortiz, Marcelo Silva, Miguel Carvajal y Félix Manjarrez, por ser nuestros mentores en toda la etapa de formación como ingenieros Electromecánicos.

Al Ing. Misael Pazmiño por los consejos a lo largo de nuestra formación como electromecánicos que siempre nos motivan a ser mejores.

Un especial agradecimiento a los Ing. Franklin Silva y Washington Freire los cuales nos impartieron sus conocimientos y palabras de aliento que lograron motivarnos a llevar a cabo este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|------------------------------------------------------------|--------------|
| CARÁTULA | i |
| CERTIFICADO | ii |
| DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD | iii |
| AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xiv |
| ÍNDICE DE TABLAS | xviii |
| RESUMEN | xix |
| SUMMARY | xx |

CAPÍTULO I

| | |
|-----------------------------------------------|----------|
| 1. FUNDAMENTO TEÓRICOS | 1 |
| 1.1. Quemadores | 1 |
| 1.1.1. Funciones..... | 1 |
| 1.1.2. Partes principales..... | 2 |
| 1.1.3. Clasificación | 2 |
| 1.1.4. Aplicaciones | 4 |
| 1.2. Combustibles industriales | 4 |
| 1.2.1. Clasificación | 5 |
| 1.2.2. Diésel (gasóleo)..... | 6 |
| a. Composición | 6 |
| b. Características | 6 |
| 1.3. Combustión..... | 7 |
| 1.3.1. Tipos de combustión..... | 8 |
| a. Combustión completa | 8 |
| b. Combustión incompleta | 8 |
| c. Combustión con exceso de aire | 8 |
| e. Combustión estequiométrica o teórica | 9 |

| | | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.3.2. | Llamas | 9 |
| a. | Llamas de premezcla | 10 |
| b. | Llamas de difusión | 10 |
| 1.4. | Productos de la combustión..... | 11 |
| 1.4.1. | Sustancias químicas que se encuentran en las emisiones de diésel | 12 |
| 1.4.2. | Problemas en la salud por las emisiones de diésel | 12 |
| 1.4.3. | Problemas medioambientales por las emisiones de diésel | 13 |
| 1.4.4. | Monóxido de carbono (CO) | 13 |
| a. | Monóxido de carbono y la salud de las personas | 13 |
| b. | Normas que controlan la concentración de monóxido de carbono en el aire. | 15 |
| 1.4.5. | Unidades de medición de proporción los gases | 17 |
| 1.5. | Control de la combustión | 17 |
| 1.5.1. | Control del caudal de aire con corrección por medida | 18 |
| 1.6. | Tipos de sensores para monitoreo de gases | 21 |
| 1.6.1. | Sensores electroquímicos..... | 21 |
| 1.6.2. | Sensores catalíticos de gases combustibles | 22 |
| 1.6.3. | Sensores de gas de estado sólido | 23 |
| 1.6.4. | Sensores infrarrojos | 23 |
| 1.6.5. | Sensor de monóxido de carbono (MQ-7)..... | 24 |
| a. | Principio de funcionamiento | 24 |
| b. | Módulo de acondicionamiento para el sensor mq-7 (Gassensor V1.3)..... | 25 |
| c. | Especificaciones técnicas..... | 26 |
| 1.7. | Servomotor | 26 |
| 1.7.1. | Principio de funcionamiento | 27 |
| 1.8. | Hogar y chimenea..... | 28 |
| 1.8.1. | Hogar..... | 28 |
| 1.8.2. | Chimenea..... | 29 |
| 1.9. | Sistemas de control..... | 30 |
| 1.9.1. | Sistemas de control dinámico | 30 |
| a. | Sistemas en lazo abierto..... | 30 |
| b. | Sistemas en lazo cerrado. | 31 |
| 1.9.2. | Métodos de control en sistemas en lazo cerrado | 32 |

| | | |
|---------|------------------------------------------------------|----|
| a. | Control todo/nada (on/off) | 32 |
| b. | Control proporcional integral derivativo (PID) | 33 |
| 1.9.3. | Tabla de características de controladores | 33 |
| 1.10. | Controladores lógicos programables (PLC) | 35 |
| 1.10.1. | Estructura del plc..... | 35 |
| 1.10.2. | Clasificación de los plcs..... | 36 |
| 1.10.3. | Plc simatic S7-1200..... | 36 |
| 1.10.4. | Características del plc simatic S7-1200..... | 37 |
| 1.11. | Interfaz humano máquina (HMI)..... | 37 |
| 1.11.1. | Características de un HMI..... | 38 |

CAPÍTULO II

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 2. | DISEÑO..... | 40 |
| 2.1. | Diseño del hogar y la chimenea..... | 40 |
| 2.1.1. | Situación inicial..... | 40 |
| 2.1.2. | Situación final | 40 |
| 2.1.3. | Caja negra | 40 |
| 2.1.4. | Despliegue de la función de la calidad..... | 41 |
| 2.1.5. | La casa de la calidad. | 42 |
| a. | Voz de usuario | 43 |
| b. | Conclusión a la casa de la calidad | 43 |
| 2.1.6. | Análisis funcional..... | 44 |
| 2.1.7. | Modos de operación | 44 |
| 2.1.8. | Módulos e interfaces..... | 45 |
| a. | Agrupar las funciones en módulos..... | 45 |
| b. | Establecer interfaces adecuadas entre módulos | 45 |
| c. | Simbología..... | 46 |
| 2.1.9. | Diagrama funcional para el diseño del hogar y la chimenea..... | 47 |
| 2.1.10. | División por módulos | 47 |
| 2.1.11. | Soluciones a los módulos..... | 48 |
| a. | Solución al módulo 1 | 48 |
| b. | Solución al módulo 2..... | 48 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.12. Selección de la alternativa..... | 49 |
| a. Selección de la solución al módulo 1 | 50 |
| b. Conclusión de la selección de la solución del módulo 1 | 53 |
| c. Selección de la solución al módulo 2 | 54 |
| d. Conclusión de la selección de la solución del módulo 2 | 54 |
| 2.1.13. Diseño térmico del hogar | 54 |
| a. Cálculo manual | 55 |
| b. Simulación CFD..... | 60 |
| c. Simulación de estado térmico..... | 62 |
| 2.1.14. Dimensiones y geometría del hogar y la chimenea | 62 |
| 2.1.15. Selección del material del hogar..... | 65 |
| 2.1.16. Aislamiento de la pared del hogar..... | 68 |
| 2.1.17. Diseño de la estructura de soporte. | 70 |
| 2.2. Acondicionamiento de la admisión de aire..... | 73 |
| 2.2.1. Admisión de aire lateral. | 74 |
| 2.2.2. Admisión de aire frontal. | 76 |
| 2.2.3. Admisión de aire total. | 77 |
| 2.2.4. Nuevo sistema de admisión de aire..... | 79 |
| 2.3. Diseño eléctrico y electrónico para el control automático de la admisión de aire | 82 |
| 2.3.1. Selección del sensor | 82 |
| 2.3.2. Selección del actuador | 83 |
| 2.3.3. Selección del plc | 83 |
| 2.3.4. Selección de la pantalla touch | 84 |
| 2.3.5. Diagrama general de conexión de los elementos | 84 |
| 2.4. Programación y comunicación del plc | 86 |
| 2.4.1. Diagrama de flujo | 86 |
| 2.4.2. Programación y comunicación | 87 |
| CAPÍTULO III | |
| 3. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN..... | 96 |
| 3.1. Construcción del hogar y la chimenea | 96 |

| | | |
|------|-------------------------------------------------|----|
| 3.2. | Construcción de la nueva admisión de aire | 97 |
| 3.3. | Construcción de la estructura base..... | 98 |
| 3.4. | Conexión de los equipos | 99 |
| 3.5. | Implantación del prototipo | 99 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------|------------|
| 4. | PRUEBAS Y RESULTADOS..... | 101 |
| 4.1. | Prueba del hogar y la chimenea | 101 |
| 4.2. | Prueba de la nueva admisión de aire con el servo | 104 |
| 4.3. | Prueba del sensor MQ-7..... | 105 |
| 4.4. | Prueba general del prototipo | 106 |

CAPÍTULO V

| | | |
|-----------|--------------------------------------------|------------|
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 118 |
| 5.1. | Conclusiones..... | 118 |
| 5.2. | Recomendaciones..... | 119 |

| | |
|--------------------------|------------|
| BIBLIOGRAFÍA..... | 120 |
|--------------------------|------------|

| | |
|-------------------------|-------------|
| LINKOGRAFÍA..... | 1233 |
|-------------------------|-------------|

| | |
|--------------------|-------------|
| ANEXOS..... | 1299 |
|--------------------|-------------|

ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DATOS ADICIONALES DEL
QUEMADOR BECKET DE CAPACIDAD 0,4-3 GPL

ANEXO B: PROPIEDADES, GRADOS Y REQUISITOS DEL DIÉSEL PARA
SER COMERCIALIZADO EN EL ECUADOR

ANEXO C: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR DE MONÓXIDO
DE CARBONO MQ-7.

ANEXO D: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SERVOMOTOR MS-311 DE
ROBOTEK

ANEXO E: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS, CARACTERÍSTICAS,
PROPIEDADES Y CONEXIONES DEL PLC SIMATIC S7-1200
CPU: 1214C DC/DC/DC

ANEXO F: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS, CARACTERÍSTICAS,
CONEXIONES Y MONTAJE DE LA PANTALLA SIMATIC HMI
KTP400 Basic mono PN

ANEXO G: ANÁLISIS DE LA CASA DE LA CALIDAD

ANEXO H: ESTRUCTURA FUNCIONAL PARA EL DISEÑO DEL HOGAR Y
LA CHIMENEA

ANEXO I: DIVISIÓN POR MÓDULOS

ANEXO J: LÁMINAS ACOTADAS Y ENSAMBLE

ANEXO K: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MATERIAL AISI 1020 o
ASTM A36

ANEXO L: ANÁLISIS COMPLETO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE EN
EL SOFTWARE ANSYS

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Quemador Becket..... | 1 |
| Figura 2. Pulverización en copa rotativa troncocónica, en la que el aceite forma una capa con la que se pulveriza a la salida y el aire arrastra. | 3 |
| Figura 3. Pulverización del aceite a presión en un atomizador. | 3 |
| Figura 4. Pulverización del aceite mediante un fluido (aire o vapor) a presión que forma las gotas y las dispersa. | 4 |
| Figura 5. Triángulo de la combustión. | 7 |
| Figura 6. Reacción química de la combustión. | 7 |
| Figura 7. Composición de los gases de salida en función del exceso de O ₂ | 11 |
| Figura 8. Componentes mayoritarios en los gases de salida. | 20 |
| Figura 9. Relación entre el exceso de oxígeno y el CO. | 20 |
| Figura 10. Estructura de un sensor electroquímico. | 22 |
| Figura 11. Estructura de un sensor catalítico. | 22 |
| Figura 12. Estructura de un sensor de gas de estado sólido. | 23 |
| Figura 13. Estructura de un sensor infrarrojo..... | 24 |
| Figura 14. Sensor para gas Monóxido de Carbono MQ-7. | 24 |
| Figura 15. Formas de ondas del funcionamiento del sensor MQ-7. | 25 |
| Figura 16. Módulo y sensor MQ-7..... | 25 |
| Figura 17. Servomotor. | 27 |
| Figura 18. Colores de los cables de los principales fabricantes de servos..... | 27 |
| Figura 19. Pulsos PWM para controlar servos. | 28 |
| Figura 20. Estructura de un hogar para combustible líquido..... | 29 |
| Figura 21. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto..... | 31 |
| Figura 22. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado. | 31 |
| Figura 23. Tipo de PLC..... | 35 |
| Figura 24. S7-1200. | 37 |
| Figura 25. Pantalla HMI siemens..... | 38 |
| Figura 26. Función global. | 47 |
| Figura 27. Esquema del proceso de combustión. | 55 |
| Figura 28. Esquema de pérdida de calor en el proceso de combustión. | 57 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 29. Temperatura en el volumen correspondiente a gases de la combustión en el hogar. | 60 |
| Figura 30. Temperatura de gases de combustión en el hogar, muestra el fluido de gases a 185°C a la salida. | 61 |
| Figura 31. Expresión vectorial de la salida de gases de combustión en el hogar. | 61 |
| Figura 32. Simulación de estado térmico. | 62 |
| Figura 33. Hogar de combustión. | 63 |
| Figura 34. Primer segmento de la chimenea. | 63 |
| Figura 35. Segundo segmento de la chimenea (Garganta). | 64 |
| Figura 36. Tercer segmento de la chimenea. | 64 |
| Figura 37. Cuerpo del hogar y la chimenea. | 65 |
| Figura 38. Selección de material (primer filtro). | 66 |
| Figura 39. Restricciones que el material debe cumplir. | 67 |
| Figura 40. Selección de material (segundo filtro). | 67 |
| Figura 41. Selección del material AISI 1020 o ASTM A36. | 68 |
| Figura 42. Pared del hogar. | 69 |
| Figura 43. Análisis de la pared del hogar. | 69 |
| Figura 44. Transferencia de calor en la pared del hogar. | 70 |
| Figura 45. Estructura de soporte del hogar, chimenea, quemador y accesorios. | 71 |
| Figura 46. Resultado de la deformación total de la estructura. | 72 |
| Figura 47. Resultado de la deformación direccional “y” de la estructura. | 72 |
| Figura 48. Resultado de la deformación direccional “y” de la estructura. | 72 |
| Figura 49. Resultado del factor de diseño estático de la estructura. | 73 |
| Figura 50. Admisión de aire propia del quemador. | 73 |
| Figura 51. Admisión de aire lateral. | 74 |
| Figura 52. Dimensiones de una hendidura de la admisión de aire lateral. | 75 |
| Figura 53. División de la hendidura. | 75 |
| Figura 54. Admisión de aire frontal. | 76 |
| Figura 55. Dimensiones para el cálculo del área frontal. | 76 |
| Figura 56. Sección cuadrada equivalente al área de admisión de aire original del quemador. | 78 |
| Figura 57. Radio del engrane. | 80 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 58. Parámetros para el diseño del engrane. | 80 |
| Figura 59. Engrane y cremallera. | 81 |
| Figura 60. Nuevo sistema de admisión de aire. | 82 |
| Figura 61. Conexión general de los equipos. | 85 |
| Figura 62. Flujograma para realizar el control automático de la admisión de aire del quemador para reducir las emisiones de CO. | 86 |
| Figura 63. TIA PORTAL. | 87 |
| Figura 64. Ejecutar TIA. | 88 |
| Figura 65. Crear nuevo proyecto. | 88 |
| Figura 66. Etiquetas del nuevo proyecto. | 88 |
| Figura 67. Configurar dispositivo. | 89 |
| Figura 68. Selección del controlador. | 89 |
| Figura 69. PLC agregado. | 90 |
| Figura 70. Selección de la pantalla HMI. | 90 |
| Figura 71. Pantalla HMI agregada. | 91 |
| Figura 72. Designación de dirección IP a la PC. | 91 |
| Figura 73. Designación de dirección IP al PLC. | 92 |
| Figura 74. Comunicación entre PC, PLC y pantalla HMI. | 92 |
| Figura 75. Verificación de comunicación. | 93 |
| Figura 76. Bloques de programación. | 93 |
| Figura 77. Pantalla Presentación. | 94 |
| Figura 78. Pantalla Control Manual. | 94 |
| Figura 79. Pantalla Control Automático. | 95 |
| Figura 80. Hogar de combustión. | 96 |
| Figura 81. Chimenea. | 97 |
| Figura 82. Nueva admisión de aire. | 98 |
| Figura 83. Estructura Base. | 98 |
| Figura 84. Caja de control. | 99 |
| Figura 85. Prototipo terminado. | 100 |
| Figura 86. Medición de la temperatura en el hogar. | 101 |
| Figura 87. Medición de la temperatura al final de la chimenea. | 102 |
| Figura 88. Intercambiador de calor. | 103 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 89. Implementación del sistema de enfriamiento de gases de combustión... | 103 |
| Figura 90. Parámetros necesarios para el movimiento del servo..... | 104 |
| Figura 91. Adaptación del servomotor con la nueva admisión de aire. | 105 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Clasificación de los combustibles industriales. | 5 |
| Tabla 2. Elementos que componen el diésel. | 6 |
| Tabla 3. Principales problemas medioambientales producidos por la quema de combustibles fósiles. | 13 |
| Tabla 4. Síntomas en el cuerpo debido al monóxido de carbono. | 14 |
| Tabla 5. Efecto fisiológico respecto al tiempo de exposición de determinado nivel de concentración de monóxido de carbono..... | 14 |
| Tabla 6. Valores de concentración de CO, expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg. | 16 |
| Tabla 7. Métodos de análisis de gases de combustión. | 19 |
| Tabla 8. Características del módulo y sensor MQ-7..... | 26 |
| Tabla 9. Tipos de sistemas de control automático. | 32 |
| Tabla 10. Características de controladores. | 34 |
| Tabla 11. Alternativas de solución MÓDULO 1. | 48 |
| Tabla 12. Alternativas de solución MÓDULO 2. | 49 |
| Tabla 13. Solución para el soporte del hogar. | 51 |
| Tabla 14. Solución para el soporte del quemador. | 51 |
| Tabla 15. Solución para el hogar de combustión. | 52 |
| Tabla 16. Solución para las sujeciones. | 52 |
| Tabla 17. Solución para la chimenea. | 53 |
| Tabla 18. Conclusión de la selección de la solución del módulo 1..... | 53 |
| Tabla 19. Solución para los instrumentos instalados. | 54 |
| Tabla 20. Características de algunos productos de la combustión. | 58 |
| Tabla 21. Características de los reactivos para la combustión. | 58 |
| Tabla 22. Entalpías de algunos productos de la combustión. | 59 |
| Tabla 23. Interpolación. | 59 |
| Tabla 24. Cálculo para el radio del engrane. | 79 |

RESUMEN

En el sector industrial los quemadores vienen siendo parte fundamental en procesos térmicos. Existen diferentes tipos de quemadores según el combustible utilizado, los quemadores Diésel son comúnmente empleado en la industria, debido al bajo costo del combustible (diésel) y a las propiedades intrínsecas de este, como es una de ellas su alto poder calorífico. Al combustionar diésel existe generación de gases tóxicos emanados a la atmósfera, afectando así a las personas que se encuentren en su entorno. El monóxido de carbono (CO) es uno de los gases más peligrosos generados, dependiendo la concentración de CO en contacto con los seres humanos, se presentan distintos síntomas pudiendo causar hasta la muerte. Las emisiones de monóxido de carbono se pueden regular de acuerdo a la cantidad de aire empleada en la mezcla aire-combustible. Mientras mayor es la cantidad de aire en la mezcla, menor será la concentración de CO en el ambiente. Para lograr una medición adecuada de la concentración de CO en el aire, fue necesario un transmisor industrial, el mismo que recibe el gas de manera directa y a una temperatura no mayor a 50 °C. Para lo cual se construyó un prototipo de hogar-chimenea que almacena y direcciona los gases y un intercambiador de calor que garantiza que los gases expulsados no sobrepasen los 50 °C. La admisión de aire original del quemador no facilita su automatización, por lo que se rediseñó la admisión centralizando a una toma general de flujo de aire la misma que se automatizó con ayuda de un servomotor y un mecanismo de engrane y cremallera. El PLC utilizado es el S7-1200 con CPU: 1214 DC/DC/DC, la entrada análoga que recibe la señal del transmisor, las salidas digitales con PWM para controlar la posición de servomotor, conexión con una pantalla HMI y la opción de realizar un control Proporcional. La pantalla HMI cuenta con control manual.

Palabras claves:

- Monóxido de Carbono
- Quemadores diesel
- Controladores lógicos programables

SUMMARY

In the industrial business, burners have been a primary element in heating process. There are different types of burners depending on the fuel used. Normally, diesel is the most common fuel for industrial purposes because of its affordable price and heating qualities. When combustioning diesel, toxic gas is emitted to the atmosphere. This definitely affects the people around. Carbon Dioxide is a very lethal gas; depending on its concentration it can even cause death. These emissions can be regulated according to the amount of air while combustioning. The more air there is for combustion, the less carbon dioxide will exist in the environment. To measure this concentration in the air it's necessary to use an industrial transmitter this is going to receive gas directly at a temperature no greater than 50 °C. The systems consists of a house and a chimney that stores and directs this gas, as well as a heat exchanger ensuring that the emitted gas will not exceed 50°C. On the other hand the original air admission burner is not easily automatized thus the admission was redesigned by centralizing one general air. This procedure was done with a servomotor and a mechanism of gears and a rack. The signal processing is carried out by PLC S7-1200 with a CPU: 1214 DC/DC/DC. An analog input will receive the transmitter signal. The digital output controlled by PWM will control the position of the servomotor. A PID control provides free management of the gate according to the CO measurement. This can be visualized through a HMI which also allows Gradual Manual Control over the gate by the operator; finally the Automatic Control which basically contains the same functions as the manual. But additionally it work as also as a PID allowing automatic air calibration.

Key Words:

Carbon monoxide

Diesel burners

Programmable Logic Controllers

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTO TEÓRICOS

1.1. QUEMADORES

Los quemadores son los dispositivos que permiten realizar la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada y regulable, asegurando la aportación adecuada de ambos para conseguir la potencia calorífica especificada y distribuyendo la zona de reacción (llamas) y la circulación de los productos de combustión. (Márquez, 2005)

En la **Figura 1** se presenta una quemador de marca Beckett de capacidad 0,4 – 3 GPH, es uno de los comúnmente utilizados, las especificaciones del mencionado quemador se muestran el **ANEXO A**.



Figura 1. Quemador Beckett.

Fuente: (Márquez, 2005)

1.1.1. FUNCIONES

Los quemadores tienen varias funciones, entre las más importantes están:

- Aportar combustible a la cámara de combustión en condiciones de ser quemado.
- Aportar el comburente (aire) a la cámara de combustión.
- Mezclar íntimamente el aire y el combustible.
- Encender y quemar la mezcla.
- Desalojar los productos de la combustión.

1.1.2. PARTES PRINCIPALES

Las partes principales de un quemador se dividen de acuerdo a sus funciones principales:

- Suministro y control de aire.
- Manejo de combustible.
- Encendido del quemador.

1.1.3. CLASIFICACIÓN

Los quemadores según el tipo de combustible que utilizan se clasifican en: quemadores para gas, quemadores para combustibles líquidos y quemadores para combustibles sólidos.

Dentro de los **quemadores para combustibles líquidos** existen dos clases fundamentales:

1. **Quemadores de gasificación o vaporización**, en los que la llama, por radiación sobre la superficie del combustible líquido, produce la vaporización de este, el cual se incorpora a la llama y mantiene la combustión. Este sistema tiene una doble limitación de uso: se aplica a quemadores pequeños ($\approx 15\text{kW}$) y solo es aplicable con combustibles ligeros.
2. **Quemadores de pulverización**, que son los generalmente utilizados, el combustible, para ser pulverizado, debe tener baja viscosidad, que solo presentan a baja temperatura los gasóleos.

Existen tres métodos para pulverizar el aceite:

- a) **Por rotación.**- Como se muestra en la **Figura 2**, el aceite llega por un tubo central a una copa giratoria que, al girar a gran velocidad, rompe el líquido en gotas que el aire arrastra. Se regula variando el caudal de aceite.

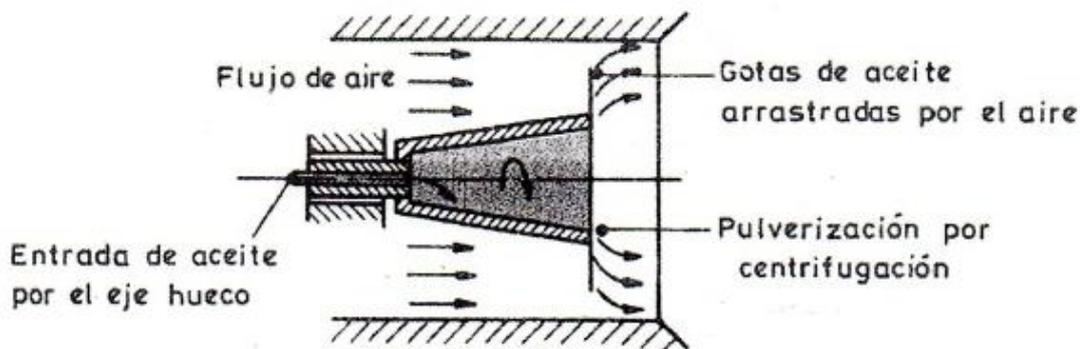


Figura 1. Pulverización en copa rotativa troncocónica, en la que el aceite forma una capa con la que se pulveriza a la salida y el aire arrastra.

Fuente: (Márquez, 2005)

- b) Por presión de aceite.-** En la **Figura 3** el aceite, a una presión de 10 a 100 bar, sale por una tobera a la cámara de combustión, pulverizándose por la expansión. Se regulan modificando la sección de la tobera o por recirculación del aceite.

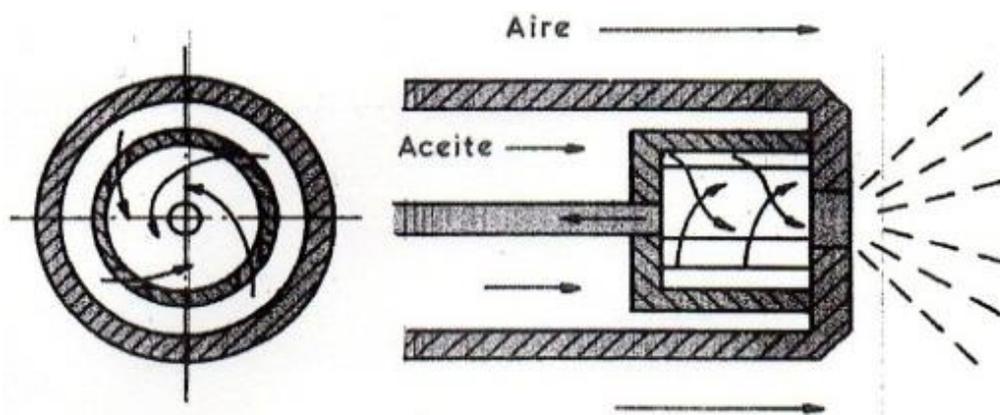


Figura 2. Pulverización del aceite a presión en un atomizador.

Fuente: (Márquez, 2005)

- c) Por inyección.-** En la **Figura 4** la inyección puede ser de aire, vapor de agua o, incluso, gas combustible. Una corriente de aceite a baja velocidad es arrastrada y pulverizada por una corriente de fluido de alta velocidad. El aire utilizado (aire primario) es más o menos importante, según se utilice a baja presión (30 a 100 mbar); a media presión (100 mbar a 1 bar); o a alta presión (de 3 a 6 bar).

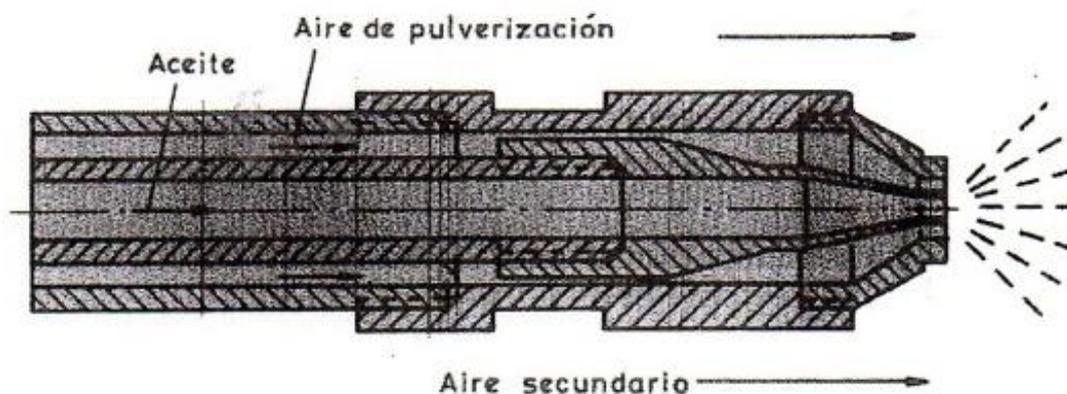


Figura 3. Pulverización del aceite mediante un fluido (aire o vapor) a presión que forma las gotas y las dispersa.

Fuente: (Márquez, 2005)

1.1.4. APLICACIONES

Los quemadores tienen diferentes e importantes aplicaciones en el área industrial, éstos se los emplean en unidades como:

- Intercambiadores de calor.
- Calderas de vapor o de agua caliente.
- Calefactores de aire.
- Hornos.
- Secadores.
- Procesos térmicos en general.

1.2. COMBUSTIBLES INDUSTRIALES

Se denominará combustible a toda aquella sustancia que por su composición haga posible la combustión de la misma, verificándose un desprendimiento de energía. (Mavainsa, 2011)

El poder calorífico es la propiedad fundamental de los combustibles, se le puede definir como la cantidad de calor que puede desarrollarse por la combustión del combustible.

1.2.1. CLASIFICACIÓN

Como se indica en la **Tabla 1** los combustibles se clasifican en función del estado físico que presenta habitualmente. La razón de esta clasificación se debe a que las técnicas y equipos a utilizar en la combustión dependerán del estado físico del combustible. (Mavainsa, 2011)

Tabla 1.
Clasificación de los combustibles industriales.

| | | |
|----------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sólidos | Naturales | Madera y residuos Carbón Turbas Lignitos Hullas Antracita |
| | Artificiales | Plásticos |
| Líquidos | Alcoholes | Naturales (fermentación e hidrólisis) Artificiales |
| | Residuales | Legías negras |
| | Derivados del petróleo | Gasóleos Fuelóleos |
| Gaseosos | Residuales | Fuel-gas |
| | Gas natural | Diferentes familias |
| | Gases líquidos del petróleo (GLP) | Propano y butanos |
| | Artificiales o elaborados | Gas de horno alto Gas de coquería Gas pobre Gas de agua GNS Gases de gasógeno Gas ciudad |
| | | Biogás |

Fuente: (Mavainsa, 2011)

Dejando aparte el uso como combustible de alcoholes (metanol, etc.), los **combustibles líquidos** más usuales son los derivados del petróleo. Prescindiendo de los carburantes (gasolina), y los combustibles para motores (diésel y queroseno), las

fracciones del petróleo usadas como combustibles propiamente dicho son el gasóleo y el fuel-oil. (Márquez, 2005)

1.2.2. DIÉSEL (GASÓLEO)

Son hidrocarburos líquidos que se emplean como combustibles en motores de combustión interna del tipo de ignición por compresión, se obtienen a partir del proceso de refinación del petróleo, se les conoce comúnmente con el nombre de destilados medios y se caracterizan porque están constituidos por fracciones de destilado que destilan a una temperatura mayor que la del queroseno, a las cuales se les puede agregar aditivos con el propósito de mejorarles sus características de comportamiento y su estabilidad de almacenamiento. (Ministerio de Economía Industria y Comercio, 1997)

a. COMPOSICIÓN

La composición media del combustible diésel ecuatoriano está dada en la

Tabla 2.
Elementos que componen el diésel.

| Elemento(s) | % |
|---------------------------|------|
| Carbono | 81.8 |
| Hidrógeno | 12.5 |
| Azufre | 0.5 |
| Elementos no combustibles | 5.2 |

Fuente: (Montalvo Andrade, 2010)

b. CARACTERÍSTICAS

El grado de los combustibles está relacionado con el área geográfica o mercado, que comercializa los diésel según la prestación o servicio al que esté dirigido. (Cubaeduca, 2009)

En el **ANEXO B** se muestran las propiedades, grados y requisitos del diésel necesarios para que pueda ser comercializado en el Ecuador.

1.3. COMBUSTIÓN

La combustión es la relación de oxidación de las sustancias combustibles. (Márquez, 2005)

Para que la combustión pueda realizarse han de coexistir tres factores, de modo que si falta alguno de ellos la combustión no puede llevarse a cabo. Estos componentes son:

- Combustible.
- Comburente.
- Energía de activación o chispa.

En la **Figura 5** se muestra el triángulo de la combustión.

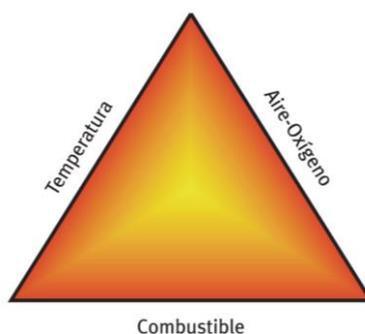


Figura 4. Triángulo de la combustión.

Fuente: (ATECYR, Guía técnica sobre procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas, 2007)

La combustión se produce por una reacción química como se representa en la **Figura 6**.

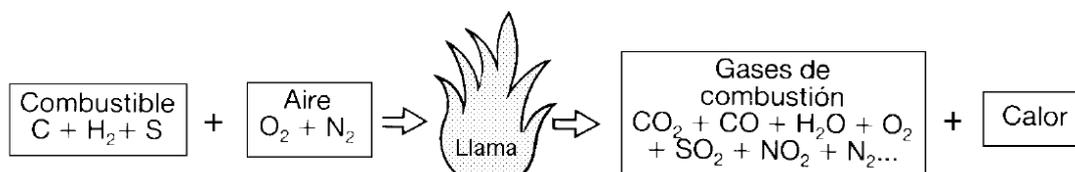


Figura 5. Reacción química de la combustión.

Fuente: (Fernández Díez, 2009)

1.3.1. TIPOS DE COMBUSTIÓN

De acuerdo a como se produzcan las reacciones de combustión, estas pueden ser de los siguientes tipos:

a. COMBUSTIÓN COMPLETA

Este tipo de combustión ocurre cuando todos los elementos contenidos en el combustible se queman totalmente para producir energía. En este caso los elementos formados debido a combustión son el agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2).

b. COMBUSTIÓN INCOMPLETA

Es la combustión producida cuando parte del combustible no se quema completamente ya que el oxígeno no se encuentra en la proporción requerida para la completa combustión, dando lugar a la formación de inquemados como carbono (C) u hollín, hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO) que en altas concentraciones y con tiempos de exposición reducidos afectan al medio ambiente y pueden llegar a ser letales para el ser humano.

c. COMBUSTIÓN CON EXCESO DE AIRE

Es la combustión que se produce cuando se trabaja con una cantidad de aire superior al requerido de acuerdo a la reacción estequiométrica, por lo tanto, la combustión tiende a no producir inquemados o presenta una cantidad mínima de ellos debido a que el exceso de aire empleado permite quemar completamente al combustible disponible en el proceso. (Serrano, 2004)

d. COMBUSTIÓN CON DEFECTO DE AIRE

Es la reacción que se produce con menor cantidad de aire que el requerido para la combustión de acuerdo a la reacción estequiométrica y se caracteriza por la

presencia de sustancias combustibles en los gases de combustión y la disminución de la generación de calor, debido a que no se produce la oxidación total del combustible.

Este tipo de combustión influye en la temperatura de la llama, y se detecta cuando se forma también monóxido de carbono (CO), que es considerado un gas venenoso aun en cantidades pequeñas si se encuentra en concentraciones superiores al 0,30% en volumen y tiempos largos de exposición. (Suárez Bastidas, 2013)

e. COMBUSTIÓN ESTEQUIOMÉTRICA O TEÓRICA

Es la reacción que se lleva a cabo con la cantidad estequiométrica exacta de aire para que no existan sustancias combustibles en los gases de combustión; en este tipo de combustión no hay presencia de oxígeno entre los productos de la combustión, debido a que este se ha empleado íntegramente en el proceso de combustión y se la conoce como teórica ya que en la práctica es imposible que ocurra.

1.3.2. LLAMAS

La llama es la zona que tiene lugar la reacción de combustión entre el combustible y el comburente.

Como esta relación va acompañada de desarrollo de calor, los gases producidos adquieren temperaturas elevadas, con lo que emiten radiación en parte luminosa. De ahí una de las acepciones de llama es precisamente la masa de gases incandescentes producidos por la combustión. (Márquez, 2005)

Dependiendo de cómo y dónde se realiza la mezcla aire-combustible, las llamas se clasifican en:

- Llamas de premezcla.
- Llamas de difusión.

a. LLAMAS DE PREMEZCLA

Como su nombre indica, el combustible se aporta mezclado con mayor o menor cantidad de aire, que se designa como aire primario. La cantidad de éste se suele referir a la del aire estequiométrico o aire mínimo necesario para la combustión. (Márquez, 2005)

Cuando el aire y el gas se mezclan antes de la zona de combustión. Si el aire premezclado con el gas representa la cantidad total requerida en la combustión, se tiene una llama de premezcla total. Cuando el aire premezclado representa sólo una fracción del aire requerido, la llama se denomina de premezcla parcial. (Amell, 2009)

En las llamas de premezcla se observa un cono interno cuya superficie constituye el frente de llama en el que tiene lugar la relación del aire primario con la parte del combustible correspondiente; si la premezcla es total, la relación acaba ahí, pero en caso contrario, el resto de combustible sigue quedando en el llamado cono externo tomando aire (secundario) del exterior por difusión.

b. LLAMAS DE DIFUSIÓN

A diferencia de las llamas de premezcla, en las que el combustible y el oxidante se mezclan antes de llegar a la zona de llama, existen sistemas en los que la fase de mezcla es lenta comparada con la velocidad de reacción, con lo que aquel proceso es la etapa controlante. Se desarrollan así las llamadas llamas de difusión, en las que el combustible puede ser un gas, una fase condensada (líquido o sólido) y el oxidante puede ser un gas fluyente o una atmósfera en reposo. La característica específica de la llama de difusión es que la velocidad de combustión está determinada por la velocidad de mezcla. (Márquez, 2005)

Cuando el aire y el gas se mezclan justamente en la zona de combustión. En este caso el aire se difunde hacia la llama por difusión molecular y/o turbulencia. (Amell, 2009)

1.4. PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

Los procesos de combustión dan lugar, inevitablemente, a la inmisión en la atmósfera de sustancias que modifican la composición y que tienen un poder contaminante sobre el aire, la tierra y el agua. (Vargas Culqui, 2014)

Todos los combustibles tienen como componentes fundamentales el carbono y el hidrógeno y, en menor medida, el azufre. De ahí que los productos de cualquier combustión, son la mezcla de los siguientes gases: CO_2 , H_2O , N_2 , O_2 ; y, en menor proporción CO , H_2 . Aunque las proporciones de todos estos componentes varían según el combustible y la cantidad de aire utilizada en la combustión.

En la **Figura 7** se muestran los gases producidos por la combustión en función de concentración de O_2 .

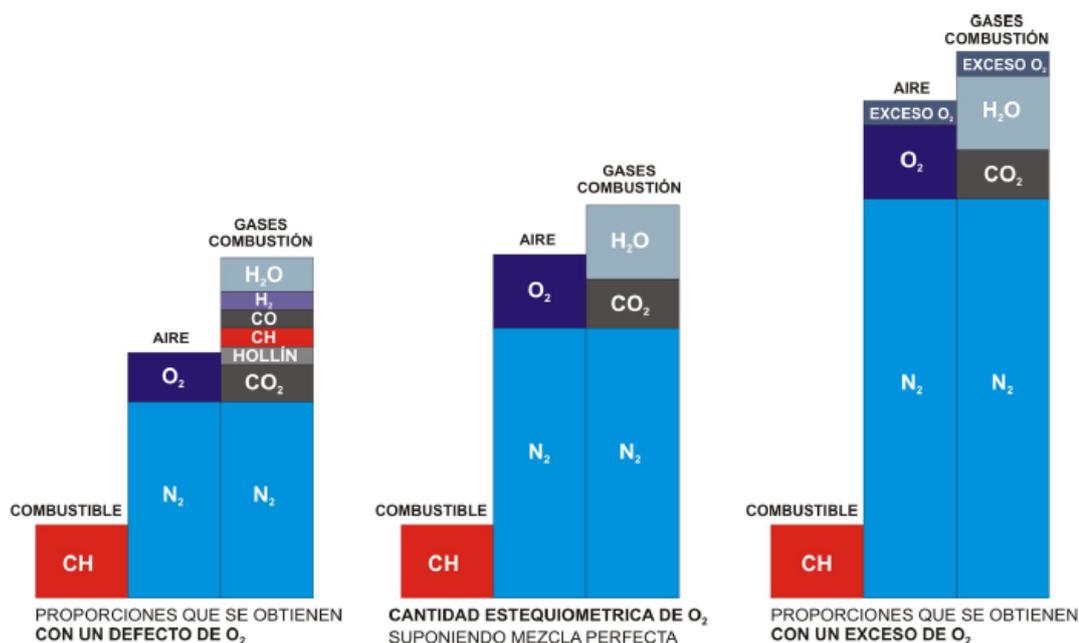


Figura 6. Composición de los gases de salida en función del exceso de O_2 .

Fuente: (testo, 2010)

1.4.1. SUSTANCIAS QUÍMICAS QUE SE ENCUENTRAN EN LAS EMISIONES DE DIÉSEL

Estos son algunos de los contaminantes tóxicos de las emisiones de diésel:

- Monóxido de carbono.
- Dióxido de sulfuro.
- Compuestos de cianuro.
- Acetaldehído.
- Benceno.
- Formaldehído.
- Metanol.

1.4.2. PROBLEMAS EN LA SALUD POR LAS EMISIONES DE DIÉSEL

La exposición a emisiones de diésel en grandes concentraciones puede causar los siguientes síntomas a corto plazo:

- Enfermedades respiratorias.
- Fatiga.
- Sentido de olfato alterado.
- Irritación de los ojos, nariz y garganta.
- Dolor de cabeza.
- Nausea.
- Acidez estomacal.

“Inhalar vapores y partículas diésel aumenta su riesgo de padecer cáncer, puede provocar o empeorar el asma y la bronquitis y dañar sus pulmones.”
(GREENACTION, 2012)

1.4.3. PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES POR LAS EMISIONES DE DIÉSEL

Los principales problemas medioambientales causados por las emisiones producidas por la quema de los combustibles derivados del petróleo como el diésel se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3.
Principales problemas medioambientales producidos por la quema de combustibles fósiles.

| Problema medioambiental | Principal fuente del problema |
|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| Contaminación del aire urbano | Energía (industria y transporte) |
| Lluvia ácida | Energía (Consumo de combustibles fósiles) |
| Disminución de la capa de ozono | Industria |
| Efecto invernadero y cambio climático | Energía (consumo de combustibles fósiles) |

Fuente: (Jiménez León, 2004)

1.4.4. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El monóxido de carbono representado como CO es un gas incoloro, sin olor ni sabor, no irritante que se produce de la combustión incompleta.

a. MONÓXIDO DE CARBONO Y LA SALUD DE LAS PERSONAS

La exposición a niveles altos de monóxido de carbono puede ser fatal. La intoxicación con monóxido de carbono es la causa principal de muertes debidas a envenenamiento. (ATSDR, 2012)

En la **Tabla 4** y la **Tabla 5** se indican algunos de los síntomas en el cuerpo humano producidos por la exposición a las distintas concentraciones de monóxido de carbono.

Tabla 4.
Síntomas en el cuerpo debido al monóxido de carbono.

| Concentración de monóxido de carbono | Carboxihemoglobina (%) | Síntomas |
|---------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Menos de 35 ppm | 5 | Ninguno o cefalea suave. |
| 0,005% (50 ppm) | 10 | Cefalea leve, disnea de grandes esfuerzos, vasodilatación cutánea. |
| 0,01% (100 ppm) | 20 | Cefalea pulsátil, disnea de moderados esfuerzos. |
| 0,02% (200 ppm) | 30 | Cefalea severa, irritabilidad, fatiga, visión borrosa. |
| 0,03–0,05% (300–500 ppm) | 40-50 | Cefalea, taquicardia, náuseas, confusión, letargia, colapso, respiración de Cheyne-Stokes. |
| 0,08-0,12% (800-1200 ppm) | 60-70 | Coma, convulsiones, falla respiratoria y cardíaca. |
| 0,19% (1900 ppm) | 80 | Muerte. |

Fuente: (Ruíz Caicedo, Másmela Vergara, & Ramírez Moreno, 2013)

Tabla 5.
Efecto fisiológico respecto al tiempo de exposición de determinado nivel de concentración de monóxido de carbono.

| Nivel de CO (ppm) | Tiempo de exposición | Efecto fisiológico |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 200 | 3 horas | Dolor de cabeza. |
| 600 | 1 hora | Mareos, zumbido de oídos, náuseas, palpitaciones, embotamiento. |
| 500 | 1 hora | |
| 1000 | 30 minutos | Peligro para la vida. |
| 1500 | 1 hora | Colapso, inconciencia, muerte. |
| 4000 | - | |

Fuente: (Mejía Quintero, 2012)

b. NORMAS QUE CONTROLAN LA CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO EN EL AIRE.

El acuerdo reformado número 58 del ministerio del ambiente con Lorena Tapia Núñez como ministra de la entidad , considera, que, en el artículo 14 de la constitución de la República del Ecuador, reconoce el derecho a la población de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay* y además declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Según el reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas en su decreto ejecutivo, registro oficial 265 de 13 de febrero del 2001, con Gustavo Noboa Bejarano presidente constitucional de la República, en su artículo 30, cual trata del manejo y tratamiento de emisiones a la atmosfera, diciendo:

Fuentes fijas de combustión.- Los equipos considerados fuentes fijas de combustión en las operaciones hidrocarburíferas serán operados de tal manera que se controlen y minimicen las emisiones, las cuales se deberán monitorear en función de las frecuencias y algunos parámetros.

En el texto unificado de legislación ambiental secundario (TULAS) plantea el anexo número 4, en el cual menciona las cantidades máximas de concentración de monóxido de carbono (CO), con el siguiente texto:

La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico (10 000 µg/m³) más de una vez en un año. La concentración máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder cuarenta mil microgramos por metro cúbico (40 000 µg/m³) más de una vez en un año.

Los valores de concentración de contaminantes comunes del aire, establecidos en esta norma, así como los que sean determinados en los programas públicos de medición, están sujetos a las condiciones de referencia de 25 °C y 760 mm Hg.

Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes comunes del aire deberán corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utilizará la siguiente ecuación:

$$C_c = C_o \times \frac{760 \text{ mm Hg}}{P_{bl} \text{ mm Hg}} \times \frac{(273 + t^{\circ}\text{C})^{\circ}\text{K}}{298^{\circ}\text{K}}$$

Donde:

C_c : Concentración corregida.

C_o : Concentración observada.

P_{bl} : Presión atmosférica local, en milímetros de mercurio.

$t^{\circ}\text{C}$: Temperatura local, en grados centígrados.

En la **Tabla 6** se presentan valores de concentración de monóxido de carbono clasificándolos en diferentes niveles los mismos que son: nivel de alerta, nivel de alarma, nivel de emergencia.

Tabla 6.
Valores de concentración de CO, expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

| Contaminante y periodo de tiempo | Nivel de Alerta | Nivel de Alarma | Nivel de Emergencia |
|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| Monóxido de carbono, concentración promedio en ocho horas. | 15000 | 30000 | 40000 |

1.4.5. UNIDADES DE MEDICIÓN DE PROPORCIÓN LOS GASES

Los componentes de gases de combustión se determinan o se miden en las siguientes unidades:

Ppm (Partes Por Millón)

La unidad representa el número de partes que constituye una determinada sustancia en un millón de partes del compuesto. Es independiente de la presión y la temperatura, se utiliza en concentraciones bajas. Para concentraciones mayores, se utiliza el porcentaje (%). La equivalencia es: $10.000 \text{ ppm} = 1\%$ ó $1 \text{ ppm} = 0,0001\%$

mg/Nm³ (Miligramos por metro cúbico a condiciones Normales)

Toma como referencia el volumen en m³ a condiciones normales y la masa del gas se indica en miligramos (mg/Nm³), varía con la presión y la temperatura. Las condiciones normales son: presión = 1 atm y temperatura = 20 °C. (Vargas Culqui, 2014)

La fórmula para convertir mg/Nm³ a ppm de un contaminante gaseoso es:

$$\text{mg/Nm}^3 = \text{ppm} \times \text{Peso Molecular del gas} \times 0,0409$$

1.5. CONTROL DE LA COMBUSTIÓN

La combustión es, en realidad, una reacción química que (combustible y comburente) desarrolla una reacción de oxidación exotérmica rápida que, por razones de economía, debe ser completa en cuanto al combustible, lo que exige trabajar con un cierto exceso de comburente, pero ello de forma limitada para evitar pérdidas de calor en los productos de la reacción. El control cuantitativo de la reacción se deberá hacer, en consecuencia, variando la alimentación de combustible; el exceso de comburente (aire), manteniendo su proporción con respecto al combustible utilizado. Por otra parte, en los productos de la combustión pueden aparecer productos no deseados por el desarrollo de reacciones paralelas, lo que también puede controlarse

conduciendo la operación de modo que o no tengan lugar en absoluto o que sólo lo tenga en grado mínimo.

1.5.1. CONTROL DEL CAUDAL DE AIRE CON CORRECCIÓN POR MEDIDA

El control del aire aportado para la combustión tiene gran importancia ya que el exceso de aire es necesario para que la combustión sea completa y no se produzcan inquemados, pero que no sea demasiado alto ya que afectará al rendimiento.

Como, por otro lado, el caudal de combustible ha de venir regulado por la demanda de calor, el caudal de aire deberá ajustarse a aquél, de donde se sigue que el control de éste se realiza sobre la relación combustible/aire.

En estos controles, medir el exceso de aire por el porcentaje de oxígeno no es lo adecuado, se ha citado como más conveniente realizar este control midiendo la concentración de CO en los gases combustionados, que debe mantenerse dentro del margen de 100 y 200 ppm.

El argumento reside en que el porcentaje de oxígeno puede dar una indicación falsa si existen infiltraciones de aire o desajustes en el quemador, mientras que el porcentaje de CO es independiente de esas circunstancias. (Márquez, 2005)

El control por corrección de medida se refiere a medir uno de los gases producidos por la combustión y con ello realizar el control de la mezcla aire-combustible. En la **Tabla 7** se muestran algunos métodos de análisis de gases de combustión.

Existen varios gases producidos por la combustión del diésel que se los puede correlacionar con el exceso de aire en la mezcla para la combustión como se muestra en la **Figura 8**.

Tabla 7.
Métodos de análisis de gases de combustión.

| Componente | Método de medida | CO ₂ | O ₂ | CO | Inquemados sólidos |
|-----------------------------------------------------|------------------|-----------------|----------------|----|--------------------|
| Precipitación con Ba(OH)₂ | | × | | | |
| Conductividad eléctrica | | × | | | |
| Calorímetro con hidracina | | × | | | |
| Absorción química | | × | × | × | |
| Conductividad térmica | | × | | | |
| Infrarrojos dispersivos | | | | × | |
| Infrarrojos no dispersivos | | × | | × | |
| Paramagnéticos | | | × | | |
| Sonda de óxido de zirconio | | | × | | |
| Membrana semipermeable | | | × | | |
| Calorimétrico con I₂O₂ | | | | × | |
| Oxígeno con HgO | | | | × | |
| Combustión catalítica | | | | × | |
| Índice de ennegrecimiento | | | | | × |
| Opacimetría | | | | | × |
| Gravimetría | | | | | × |
| Absorción de rayos | | | | | × |
| Difusión de la luz | | | | | × |
| Carga electrostática | | | | | × |
| Vibración de cuarzo piezoeléctrico | | | | | × |

Fuente: (Universidad de Burgos, 2013)

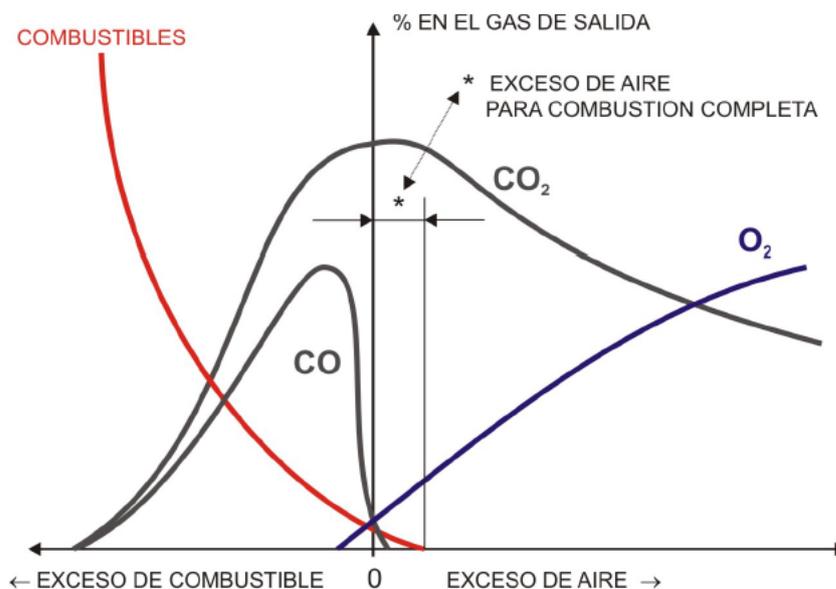


Figura 7. Componentes mayoritarios en los gases de salida.

Fuente: (testo, 2010)

De los componentes posibles a medir en los gases de combustión, el CO es la medida más sensible de todos los gases.

El contenido de CO en los gases de escape están relacionados con el caudal de aire utilizado en la mezcla aire-combustible, en la **Figura 9** se puede observar lo mencionado.

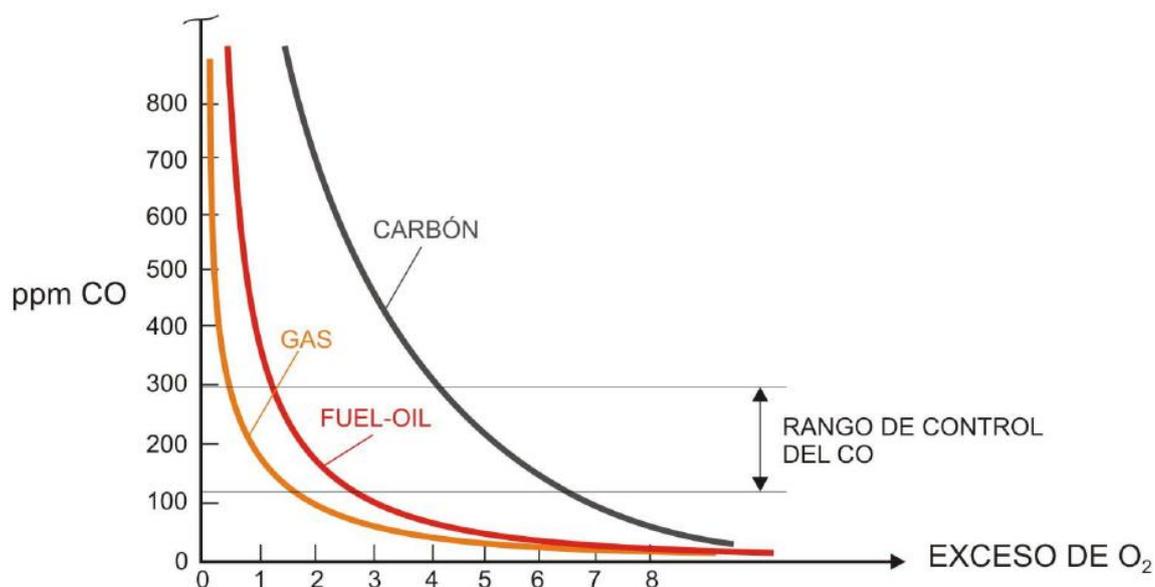


Figura 8. Relación entre el exceso de oxígeno y el CO.

Fuente: (testo, 2010)

Teóricamente el CO debería ser cero con presencia de O₂ en los gases de combustión. Pero en la práctica no es así, se puede mantener un rendimiento máximo cuando el CO se encuentre entre 100 y 200 ppm. Teniendo en cuenta los límites reglamentarios impuestos sobre el CO ajustaremos una concentración de CO por debajo de esos límites y cercana a la banda de rendimiento óptimo.

El CO es un indicador muy sensitivo de un quemador mal ajustado, si su concentración sube hasta 1000 ppm esto es una indicación fiable de condición de trabajo insegura. El CO es un tipo de combustible inquemado. (testo, 2010)

1.6. TIPOS DE SENSORES PARA MONITOREO DE GASES

Un sensor es el componente de una instalación o sistema, que se encarga de recibir el valor de una magnitud física, química y biológica para convertirla en una señal eléctrica, generalmente una tensión o una corriente de bajo valor.

Los sensores comúnmente usados para satisfacer los requerimientos de calidad de aire en el área de trabajo y aplicaciones de seguridad son los sensores electroquímicos, sensores catalíticos, sensores de estado sólido, sensores infrarrojos.

1.6.1. SENSORES ELECTROQUÍMICOS

El principio de operación de un típico sensor electroquímico consiste en un electrodo sensor (cátodo) y un contra electrodo (ánodo) separados por una delgada capa de electrolito. El gas que entra en contacto con el sensor reacciona sobre la superficie del electrodo sensor generando una reacción de oxidación o reducción. Los materiales del electrodo, específicamente desarrollados para el gas de interés, catalizan estas reacciones. Una corriente proporcional a la concentración de gas es generada, la que puede ser medida para determinar la concentración de gas.

En la **Figura 10** se indica la estructura básica de un sensor electroquímico.

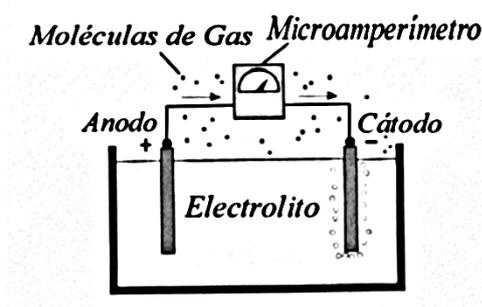


Figura 9. Estructura de un sensor electroquímico.

Fuente: (Atsintech, 2005)

Sensores diseñados para detectar gases tales como monóxido de carbono, sulfato de hidrógeno, dióxido de sulfuro, cloro y dióxido de nitrógeno son buenos sensores capaces de comportarse de acuerdo a las expectativas. (Guagchinga Moreno & Guamaní Mena, 2012)

1.6.2. SENSORES CATALÍTICOS DE GASES COMBUSTIBLES

Una mezcla combustible de gases no se quemará hasta que alcance la temperatura de ignición. En presencia de materiales catalíticos, sin embargo, el gas empezará a quemarse a temperaturas más bajas. Un alambre de platino en espiral es recubierto con un óxido metálico tratado catalíticamente. En presencia de gases combustibles, las moléculas de gas se queman sobre la superficie del sensor, lo cual causa que la temperatura del sensor se incremente. El cambio de temperatura altera la resistencia del alambre de platino, que es conectado a un circuito de puente Wheatstone que produce una señal proporcional a la concentración del gas.

En la **Figura 11** se indica la estructura básica de un sensor catalítico.

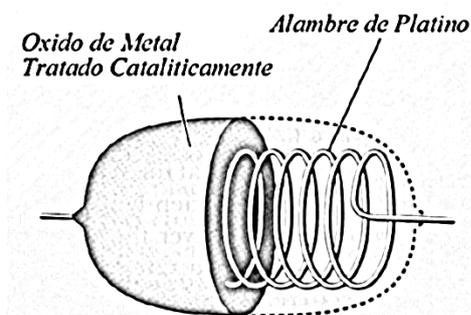


Figura 10. Estructura de un sensor catalítico.

Fuente: (Atsintech, 2005)

La salida de un sensor catalítico es directamente proporcional a la concentración de gas, hasta el límite explosivo inferior. (Guagchinga Moreno & Guamaní Mena, 2012)

1.6.3. SENSORES DE GAS DE ESTADO SÓLIDO

Un sensor de estado sólido se compone de uno o más óxidos metálicos de metales de transición. Estos óxidos metálicos están preparados y procesados en una pasta usada para formar un sensor en forma de burbuja. Un calefactor se inserta en el sensor para mantener el sensor a una temperatura óptima para la detección del gas. En presencia de un gas, el óxido metálico causa una disociación del gas en iones cargados o complejos, resultando la transferencia de electrones. Un par de electrodos apropiados se insertan en el óxido metálico, para medir sus cambios de conductividad en forma de señal.

En la **Figura 12** se indica la estructura básica de un sensor de gas de estado sólido.

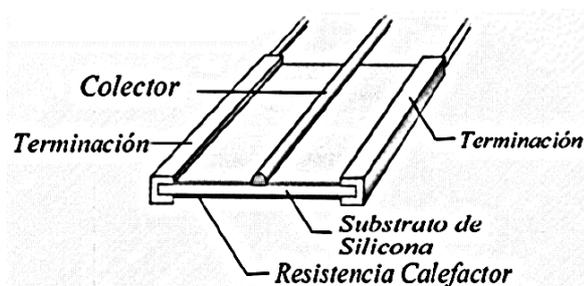


Figura 11. Estructura de un sensor de gas de estado sólido.

Fuente: (Atsintech, 2005)

Los sensores de estado sólido pueden ser usados para detectar una variedad de gases en rangos de ppm bajos o rangos combustibles. (Guagchinga Moreno & Guamaní Mena, 2012)

1.6.4. SENSORES INFRARROJOS

Constan de gases cuyas moléculas tienen de dos o más átomos disímiles absorben la radiación infrarroja en largos de ondas específicas. Esta energía

absorbida causa que se incremente la temperatura de las moléculas de gas. El cambio de temperatura se mide como una concentración de gas. (Guagchinga Moreno & Guamaní Mena, 2012)

En la **Figura 13** se indica la estructura básica de un sensor infrarrojo.

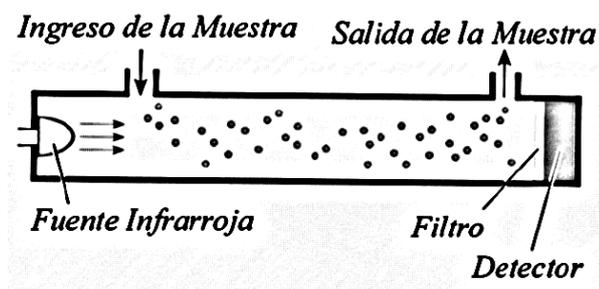


Figura 12. Estructura de un sensor infrarrojo.

Fuente: (Atsintech, 2005)

1.6.5. SENSOR DE MONÓXIDO DE CARBONO (MQ-7)

El MQ-7 es un sensor de gas que tiene una alta sensibilidad al monóxido de carbono (CO), su vida útil es larga en comparación a su costo en las mejores condiciones puede durar hasta cinco años, se lo puede utilizar en distintas aplicaciones en la industria, en domicilios y hasta en automóviles.

En la **Figura 14** se indica el modelo del sensor MQ7.



Figura 13. Sensor para gas Monóxido de Carbono MQ-7.

Fuente: (sparkfunelectronics, 2009)

a. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El MQ-7 hace la detección por el método de ciclo de temperatura alta y baja, detecta CO cuando baja la temperatura (calentada por 1.4V). La conductividad del

sensor es más alta, junto con la concentración de gas en aumento. Cuando sube la temperatura (calentada por 5.0V) se limpian los otros gases adsorbidos a baja temperatura.

Para lograr su objetivo el sensor necesita un voltaje fijo de alimentación de 5V, además de un suministro de voltaje de 5V durante 60 segundos y 1.4V durante 90 segundos, tal como muestra la **Figura 15**.

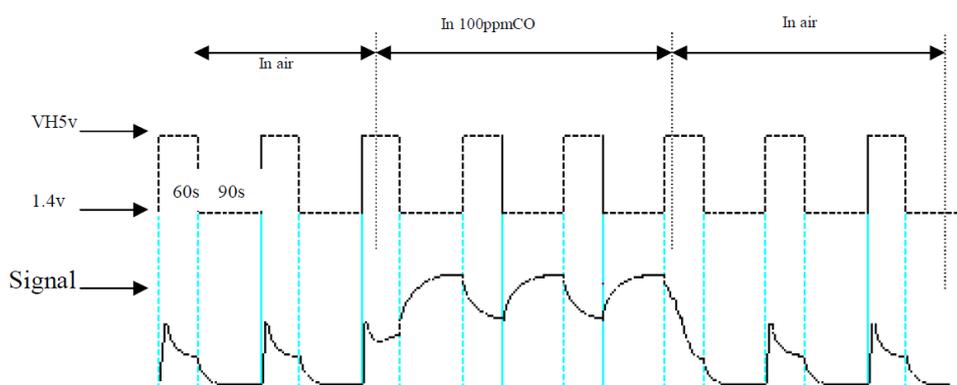


Figura 14. Formas de ondas del funcionamiento del sensor MQ-7.

Fuente: (HANWEI ELECTRONICS CO, 2008)

b. MÓDULO DE ACONDICIONAMIENTO PARA EL SENSOR MQ-7 (GASSENSOR V1.3)

La sensibilidad del sensor puede ser ajustada mediante un potenciómetro, para determinar la cantidad de CO que se desea detectar, esto ya depende de la aplicación en cuestión o de la necesidad del usuario.

En la **Figura 16** se indica el módulo para el sensor MQ7.

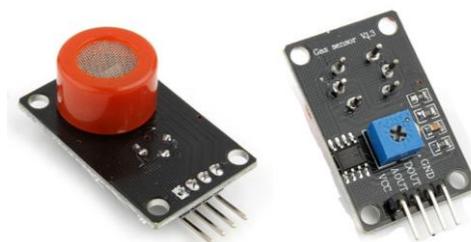


Figura 15. Módulo y sensor MQ-7.

Fuente: (Suallabs.com, 2015)

En la **Tabla 8** se indican las características del módulo y el sensor MQ-7.

Tabla 8.
Características del módulo y sensor MQ-7.

| Características Técnicas | |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Modelo | MQ-7 |
| Voltaje de operación | 5V |
| Corriente de operación | 150mA |
| Potencia de consumo | 350mW |
| Resistencia de carga | Potenciómetro (Ajustable) |
| Resistencia de sensado | 2K Ω ~ 20K Ω |
| Definición de pines | <ul style="list-style-type: none"> • Pin 1: +Vcc • Pin 2: Aout • Pin 3: Dout • Pin 4: Gnd |
| Detección de partes por millón | 20 ppm~2000 ppm |
| Concentración detectable | Monóxido de carbono |
| Tasa de concentración | 0.6 |
| Concentración de oxígeno | 2%~21% |
| Humedad de operación | <70%RH |
| Temperatura de operación | -20°C~70°C |

Fuente: (Vistronica, 2008)

c. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En el **ANEXO C** se indica las condiciones aptas de trabajo, las características de sensibilidad, la curva característica de sensibilidad, la estructura y configuración y la curva de influencia de la temperatura y humedad en el sensor MQ-7.

1.7. SERVOMOTOR

Un servomotor (**Figura 17**) es un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ser controlado en posición. Es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación (generalmente de 180°) y mantenerse estable en dicha posición. Los servos se suelen utilizar en robótica, automática y modelismo debido a su gran precisión en el posicionamiento. (Candelas Herías & Corrales Ramón, 2007)



Figura 16. Servomotor.

Fuente: (Amain, 2007)

1.7.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los servos disponen de tres cables (**Figura 18**), dos cables de alimentación (positivo y negativo/masa) que suministran un voltaje 4.8 - 6V y un cable de control que indica la posición deseada al circuito de control mediante señales PWM (“Pulse Width Modulation”).

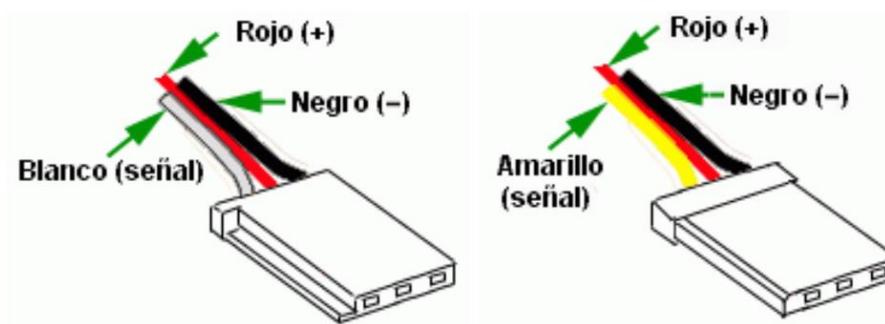


Figura 17. Colores de los cables de los principales fabricantes de servos.

Fuente: (Candelas Herías & Corrales Ramón, 2007)

Las señales PWM utilizadas para controlar los servos están formadas por pulsos positivos cuya duración es proporcional a la posición deseada del servo y que se repiten cada 20ms (50Hz). Todos los servos pueden funcionar correctamente en un rango de movimiento de 90°, que se corresponde con pulsos PWM comprendidos

entre 0.9 y 2.1ms. Sin embargo, también existen servos que se pueden mover en un rango extendido de 180° y sus pulsos de control varían entre 0.5 y 2.5ms (**Figura 19**). Antes de utilizar un servo habrá que comprobar experimentalmente su rango de movimiento para no dañarlo. Para mantener fijo un servo en una posición habrá que enviar periódicamente el pulso correspondiente; ya que si no recibe señales, el eje del servo quedará libre y se podrá mover ejerciendo una leve presión.

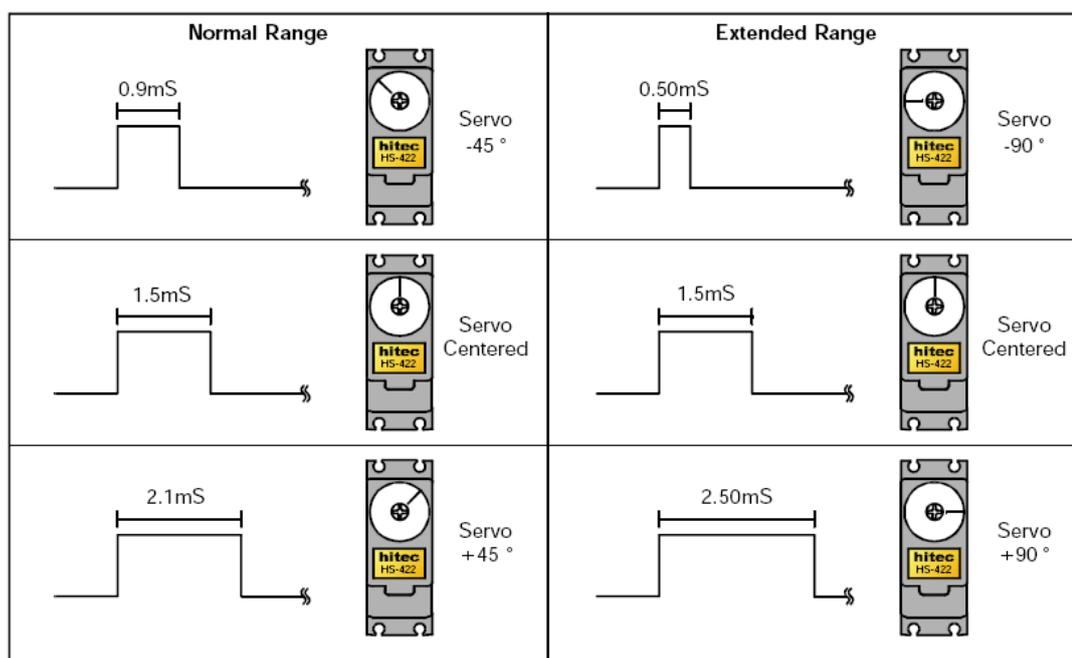


Figura 18. Pulsos PWM para controlar servos.

Fuente: (Candelas Herías & Corrales Ramón, 2007)

1.8. HOGAR Y CHIMENEA

El hogar y la chimenea son partes esenciales del presente proyecto, por lo que se dará una breve definición, el funcionamiento y características principales de cada una de las partes antes mencionadas.

1.8.1. HOGAR

Se define un hogar como el lugar donde ocurre la combustión. Constituye un elemento de instalaciones más complejas como calderas, hornos o secadores. (Bermúdez Tamarit, 2000)

En la **Figura 20** se muestra un esquema de la estructura básica de un hogar para combustible líquido pulverizado.

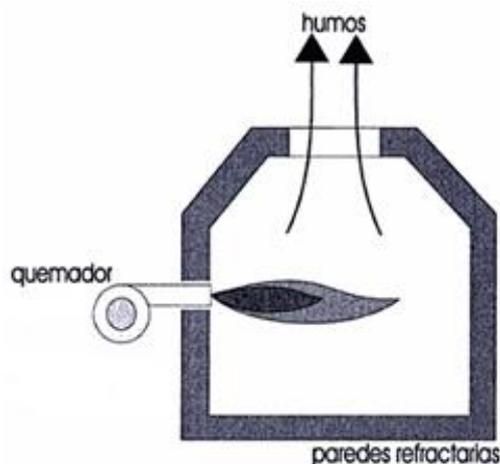


Figura 19. Estructura de un hogar para combustible líquido.

Fuente: (Bermúdez Tamarit, 2000)

Para el proyecto de un hogar se aconseja analizar las condiciones de funcionamiento, que brevemente consignamos:

- Clase de combustible al usar.
- Presión de funcionamiento y temperatura total deseada.
- Tipo de hogar.

El carbón, el petróleo y el gas natural o mezclado requieren diferentes excesos de aire para funcionamiento satisfactorio. Los excesos de aire son: (Maluquer, 1981)

- Carbón:
 - Hogares mecánicos..... 30 %
 - Hogares de polvo de carbón..... 20 a 25 %
- Combustible líquido..... 15 %
- Combustible gaseoso..... 10 a 15 %

1.8.2. CHIMENEA

Las chimeneas son estructuras cilíndricas o tronco-cónicas cuya función es expulsar gases y humos industriales. Actualmente su construcción se ha

incrementado debido a la mayor importancia que se está dando al control de la contaminación del aire. (Harmsen, 2005)

La chimenea tiene como misión la evacuación de los gases procedentes de la combustión al exterior mediante la creación, en el hogar.

Para alcanzar los tiros adecuados, las características más importantes que hay que determinar en una chimenea son su altura y su sección. Su construcción debe ser vertical y evitar ángulos superiores a 60° . (i Casals, 2003)

1.9. SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control puede definirse como el conjunto de elementos que interactúan para conseguir que la salida de un proceso se comporte tal y como se desea, mediante una acción de control, las salidas se dan en función de señales o datos de entrada.

1.9.1. SISTEMAS DE CONTROL DINÁMICO

Dependiendo del tratamiento que el sistema de control realiza con la señal de salida, pueden distinguirse dos topologías de control generales: sistemas en lazo abierto y sistemas en lazo cerrado. (Gomáriz Castro, 1998)

a. SISTEMAS EN LAZO ABIERTO

En un sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia, por ello cada entrada corresponderá a una operación prefijada sobre la señal de salida. Se puede asegurar entonces que la exactitud del sistema depende en gran manera de la calibración del mismo y, por tanto, la presencia de perturbaciones en la cadena (señales indeseadas) provocará que éste no cumpla la función asignada.

Un sistema en lazo abierto se representa en la **Figura 21**.

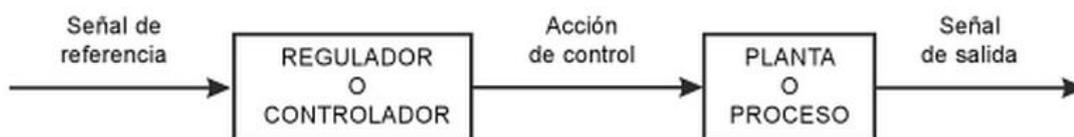


Figura 20. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto.

Fuente: (Valdivia Miranda, 2012)

En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas o externas. (Ogata, 2003)

b. SISTEMAS EN LAZO CERRADO.

En los sistemas de control en lazo cerrado, la señal de salida se compara con la señal de referencia para obtener una señal de error. La señal de error obtenida entra al regulador o controlador para que este actúe sobre la planta o el proceso y reducir el error, llevando la salida al valor deseado. La **Figura 22** muestra el esquema de un sistema de control en lazo cerrado.

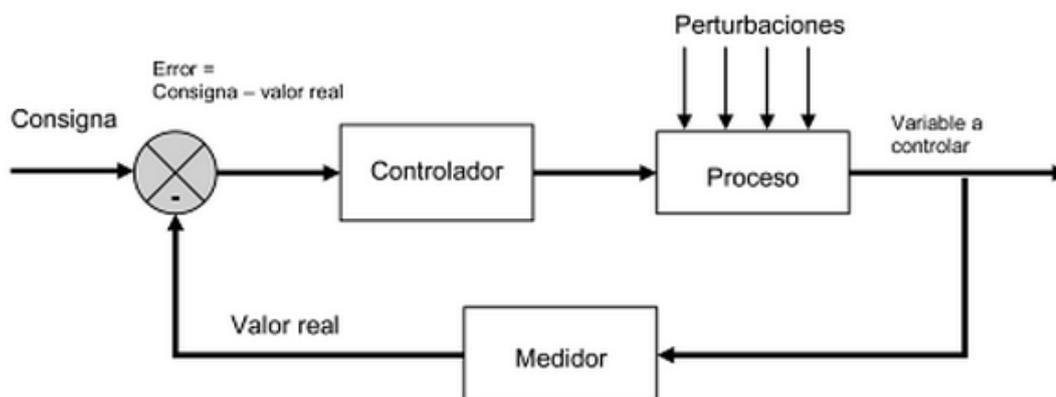


Figura 21. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado.

Fuente: (Ruiz Canales & Molina Martínez, 2010)

El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. (Ogata, 2003)

1.9.2. MÉTODOS DE CONTROL EN SISTEMAS EN LAZO CERRADO

Las acciones básicas de control son control todo-nada, control proporcional, control integral y control derivativo, éstas se utilizan por separado o en combinación. Combinando estas acciones surgen los seis tipos de control básico (**Tabla 9**), cuya elección se hace en base a la aplicación. (Rodríguez Díaz & Berenguel Soria, 2004)

Tabla 9.
Tipos de sistemas de control automático.

| Sistemas de control | Acciones de control |
|---------------------|------------------------------------------|
| Discontinuos | Control todo-nada |
| | Control de varias posiciones |
| Continuos | Control proporcional |
| | Control proporcional integral |
| | Control proporcional derivativo |
| | Control proporcional integral derivativo |

Fuente: (Rodríguez Díaz & Berenguel Soria, 2004)

a. CONTROL TODO/NADA (ON/OFF)

El control TODO/NADA (On/Off) significa que el dispositivo de regulación puede tener solamente dos posiciones, donde el control (On) significa marcha y el contacto (Off) significa paro.

b. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)

Si se combinan las tres acciones de control, surge el control PID que no presenta error de desplazamiento y reduce la tendencia a las oscilaciones:

$$u(t) = k_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) \cdot dt + k_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

El control PID genera una salida que es proporcional a la magnitud, a la duración y a la variación de la señal de error. Este control combinado tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales.

Se crea una respuesta de salida que sigue la señal de entrada, sin retardos en procesos lentos y rápidos, incluyendo aquéllos en los que la carga varía constantemente. Se puede considerar como un controlador proporcional, que dispone de un control integral para eliminar el error de desplazamiento y un control derivativo para reducir retardos de tiempo. En esta combinación: (Rodríguez Díaz & Berenguel Soria, 2004)

- El control proporcional da forma a la curva de respuesta de la variable controlada, produciendo más salida cuanto mayor sea el error.
- El control integral disminuye el tiempo de existencia del error, prediciendo más salida cuanto más tiempo perdure el error.
- El control derivativo disminuye el tiempo durante el que cambia el error, y, frecuentemente, reduce el error ejecutando por adelantado las correcciones oportunas.

1.9.3. TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE CONTROLADORES

En la **Tabla 10** se indican las características más importantes de cada uno de los controles y sus combinaciones.

Tabla 10.
Características de controladores.

| CONTROL | CARACTERÍSTICAS |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (ON/OFF) | <ul style="list-style-type: none"> • Consta solamente de dos posiciones fijas. • Presenta oscilaciones en la salida. |
| (P) | <ul style="list-style-type: none"> • Amplificador con ganancia ajustable. • Reduce el error de estado estable. • Evitan las oscilaciones. • Saturación de la señal de control debido a limitaciones físicas. |
| (I) | <ul style="list-style-type: none"> • Denominada como control de reajuste (reset). • El valor de la acción de control es proporcional a la integral de error. • La acción varía en función de la desviación de la salida y del tiempo en que se mantiene esta desviación. • La velocidad de respuesta del sistema de control dependerá de K_i. • Respuesta inicial muy lenta. |
| (D) | <ul style="list-style-type: none"> • No se usa de forma independiente. • Anticipa el error futuro. • Amplifica las señales de ruido por esto se necesita la introducción de filtro. • Mejora el comportamiento. |
| (PI) | <ul style="list-style-type: none"> • Decrementa el tiempo de subida. • Incrementa el valor de sobre impulso y el tiempo de estabilización. • Elimina el error de estado estable. • Anula el error remanente que presenta el controlador proporcional. • Empeora la respuesta trasiente. |
| (PD) | <ul style="list-style-type: none"> • Reduce el sobre impulso y el tiempo de estabilización. • El tiempo derivativo hace avanzar el efecto de la acción proporcional. • Incrementa la estabilidad del sistema mejorando su respuesta. |
| (PID) | <ul style="list-style-type: none"> • Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. |

1.10. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)

Programmable Logic Controller (PLC), controla la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control. Se trata de un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Los PLCs sirven para realizar automatismos, los cuales tienen diferentes propiedades, que ayudan a facilitar ciertas tareas para las cuales se los diseñan. (ramaucsa, 2015)

A continuación en la **Figura 23** se muestran algunos modelos de controladores lógicos programables.



Figura 22. Tipo de PLC.

Fuente: (Elrowadtm, 2014)

1.10.1. ESTRUCTURA DEL PLC

Los controladores lógicos programables, tratados como elementos principales y sin profundizar en elementos que no vienen al caso y desde el punto de vista del usuario que va a utilizar y manejar, están compuestos de: (Álvarez Pulido, 2004)

- Fuente de alimentación.
- Unidad de operación y visualización.

- Entradas y salidas.
- CPU.
- Interfaz para la conexión a PC y módulos de programa.

1.10.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PLCs

De acuerdo a su modularidad, los PLC's pueden ser clasificados en tres tipos: compactos, semicompactos y modulares.

Compactos: Son aquellos que contienen todos sus elementos, E/S, CPU, fuente de alimentación, etc., en un mismo envoltorio. En la actualidad muchos de estos PLC's se pueden ampliar con módulos de expansión de todo tipo.

Semicompactos: Son aquellos en los que alguno de sus elementos está fuera de la envoltorio principal. Por ejemplo la fuente de alimentación.

Modulares: Cada uno de los elementos que forman está en un envoltorio diferente que se instalan sobre un *rack* común. Las posibilidades de expansión son enormes comparándolas con las de tipo compacto y semicompacto, pero su costo es mucho más elevado. (Martín & García, 2009)

1.10.3. PLC SIMATIC S7-1200

En la **Figura 24** se muestra el controlador SIMATIC S7-1200 es un PLC con CPU compacta que se le puede adjuntar módulos de ampliación, es de aplicación versátil; una inversión segura, idónea para una completa gama de elementos tecnológicos potentes e integrados hacen de este controlador un componente clave en soluciones completas de automatización. La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador.

Una vez cargado el programa en la CPU contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. (SIEMENS, 2012)



Figura 23. S7-1200.

Fuente: (Siemens, 2009)

1.10.4. CARACTERÍSTICAS DEL PLC SIMATIC S7-1200

Todas las características y especificaciones técnicas del SIMATIC S7-1200 a utilizar se muestran en el **ANEXO E**.

1.11. INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI)

Human machine interface, se puede definir HMI al lugar donde se encuentran las personas junto con la tecnología, el encuentro puede ser en algo tan simple como un horno, un microondas o tan complejo como el comando de un jet, aplicado esto al ámbito industrial, es el sistema que vuelve evidentes las diferentes funcionalidades disponibles en un sistema de automatización y control.

Así como el mango de un martillo debe acomodarse a la mano para facilitar su uso, un sistema HMI debe acomodarse a las tareas que los usuarios deben realizar y a su visión del sistema de automatización. (Romero, 2011)

En la **Figura 25** se muestra un ejemplo de una pantalla touch screen.



Figura 24. Pantalla HMI siemens.

Fuente: (Siemens, 2009)

Es decir las HMI se las puede definir como una ventana de un proceso, en donde estas pueden estar colocadas en dispositivos especiales como paneles de operados o a su vez en una computadora, la industria HMI nació bajo la necesidad de estandarizar la forma de monitorizar y controlar múltiples sistemas remotos, PLCs y otros mecanismos de control, con la necesidad de tener un control más preciso y agudo de las variables de producción y de contar con información relevante de los distintos procesos en tiempo real. (Montalvo García & Morocho Romero, 2011)

Las características y especificaciones técnicas de la pantalla HMI necesaria se muestran en el **ANEXO F**.

1.11.1. CARACTERÍSTICAS DE UN HMI

A continuación se nombran algunas de las características de un HMI.

- Hardware estándar para distintas aplicaciones: permite controlar varias aplicaciones según el requerimiento del operador.

- Posibilidad de modificaciones futuras sin parar el proceso; mediante el software se puede modificar las condiciones de trabajo para la obtención del proceso deseado.
- Posibilidad de ampliación: se puede remplazar y añadir dispositivos de acuerdo al crecimiento del proceso en la industria.
- Interconexión y cableado exterior: es muy baja ya que sustituyen sistemas cableados (elementos físicos como botones, interruptores, equipos de relé, lámparas, leds) por sistemas programables compactos.
- Tiempo de implementación: es muy corto.
- Mantenimiento: es más fácil ya que se lo realiza mediante el programa que fue previamente cargado en el proceso que está siendo objeto de control.
- Configuración: permite definir el entorno de trabajo del SCADA, adoptándolo a la aplicación particular que se desee desarrollar.
- Interfaz gráfica del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta.
- Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de las variables leídas.
- Gestión y archivo de datos: almacenamiento y procesado ordenado de datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Comunicaciones: transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA.

CAPÍTULO II

2. DISEÑO

2.1. DISEÑO DEL HOGAR Y LA CHIMENEA

El hogar y la chimenea son partes importantes del presente proyecto, antes de continuar con el diseño y dimensionamiento individual debe considerarse que el prototipo no realizará ningún proceso en especial como por ejemplo fundición de piezas metálicas, cerámicas, polímeros, etc. Por lo que la función específica del hogar y la chimenea es asegurar que los gases de combustión se concentren y sean evacuados por la chimenea, así el prototipo se asemejará a un horno o caldera que son equipos usualmente utilizados en la industria.

2.1.1. SITUACIÓN INICIAL

Quemador de diésel accionado sin posibilidad de establecerse parámetros necesarios para el control de emisiones de monóxido de carbono.

2.1.2. SITUACIÓN FINAL

Quemador de diésel accionado con la posibilidad de obtener parámetros requeridos para el control de emisiones de monóxido de carbono.

2.1.3. CAJA NEGRA

El hogar para el desarrollo de la combustión originada por el quemador y la chimenea para direccionar la salida de los gases de combustión que deben tener una temperatura máxima de 50 °C al salir de la misma.

2.1.4. DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE LA CALIDAD

Es un método globalizador cuyo objetivo principal es asegurar que se tiene en cuenta la voz del usuario o cliente, a la vez que constituye una ayuda para la planificación de la calidad durante todo el ciclo de vida.

Como ya se ha dicho, el desarrollo de la función de calidad QFD (Quality Function Deployment) es un método globalizador cuyo objetivo principal es asegurar que en la definición de un producto o servicio se han considerado las necesidades y requerimientos de los usuarios (o, la voz del usuario), a la vez que también constituye una herramienta para la planificación de la calidad durante el ciclo de vida. Consiste en un proceso estructurado que permite traducir los requerimientos y deseos de los usuarios en requerimientos técnicos de ingeniería en cada fase del diseño y de la fabricación.

Fue introducido por primera vez en Japón en el año 1972, e inmediatamente tuvo una gran aceptación en este país; más tarde, en 1983 fue introducido en EE.UU. de la mano de Yoji Akao, y hoy día se utiliza en numerosas empresas de los países desarrollados y en vías de desarrollo.

Es un método que presupone el establecimiento de un equipo pluridisciplinario orientado al consenso, basado en aproximaciones creativas y que permite la síntesis de nuevas ideas de una manera estructurada.

Las 4 fases de la función de calidad.- Yoji Akao definió una serie de matrices para guiar el proceso del desarrollo de la función de calidad. Cada fase del desarrollo de un producto (planificación del producto, despliegue de componentes, planificación del proceso y planificación de la producción) se representa por una matriz cuyas características de diseño aportan las especificaciones de entrada a la matriz siguiente, en una secuencia en forma de una cascada de cuatro saltos:

1. **Planificación del producto (o casa de la calidad).**- Traduce las demandas de los clientes en características técnicas del producto
2. **Despliegue de componentes.**- Traduce las especificaciones del producto (o características técnicas de la matriz anterior) en características de los componentes

3. **Planificación del proceso.-** Traduce las especificaciones de los componentes (o características de los componentes de la matriz anterior) en características del proceso de fabricación.
4. **Planificación de la producción.-** Traduce las especificaciones del proceso (o características del proceso de fabricación de la matriz anterior) en procedimientos de planificación de la producción.

2.1.5. LA CASA DE LA CALIDAD.

La primera de estas matrices (o casa de la calidad), traduce las demandas de los usuarios (o voz del cliente) en requerimientos técnicos del producto. Es la de aplicación más frecuente y en ella se distinguen 6 pasos:

1. **Voz del usuario.-** Describe las demandas (requerimientos y deseos) de los usuarios
2. **Análisis de competitividad.-** Describe, según el usuario, el grado de satisfacción que proporcionan los productos o servicios de la empresa respecto a los de la competencia
3. **Voz del ingeniero.-** Describe los requerimientos técnicos que deberán articularse para satisfacer las necesidades de los usuarios
4. **Correlaciones.-** Establece las correlaciones entre la voz de los usuarios y la voz del ingeniero.
5. **Comparación técnica.-** Compara el producto de la empresa con los de la competencia
6. **Compromisos técnicos.-** Establece los compromisos potenciales entre las diferentes características técnicas del producto.

Para el presente diseño se planteará el análisis de la casa de la calidad el mismo que se lo presenta en la **ANEXO G.**

Para ejecutar este análisis se tomará en cuenta los siguientes requerimientos como voz del usuario, que en este caso es la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

a. VOZ DE USUARIO

Los requerimientos técnicos según la voz del usuario son los que se indican a continuación:

- Resistencia al calor.
- Liviano.
- Bajo Costo.
- Anticorrosivo.
- Durable.
- Fácil Construcción.
- Fácil Mantenimiento.

De tal manera, que en función de los requerimientos anteriormente mostrados se han generado los parámetros de ingeniería que permitirían cumplir con la voz del usuario, así la casa de la calidad se la muestra a continuación.

b. CONCLUSIÓN A LA CASA DE LA CALIDAD

Efectuado el análisis de la casa de la calidad se concluye que el orden de prioridad para el diseño del hogar para el quemador ha sido establecido por medio del análisis entre la voz del cliente y la voz del usuario, orden que se muestra a continuación:

1. Selección del material
2. Densidad del material
3. Resistencia a la fatiga
4. Resistencia Mecánica
5. Resistencia Térmica
6. Geometría de Ensamblaje
7. Geometría de Diseño

El orden establecido, permite generar el Diagrama de Funciones que determina el concepto esencial de función para el sistema del hogar y sus módulos o sub ensamblajes (chimenea) correspondientes.

2.1.6. ANÁLISIS FUNCIONAL

Función global y subfunciones. Con el propósito de describir y resolver los problemas de diseño, es útil aplicar el concepto de función, que es cualquier transformación (en el sentido de realización de una tarea) entre unos flujos de entrada y de salida, tanto si se trata de funciones estáticas (invariables en el tiempo) como de funciones dinámicas (que cambian con el tiempo). La función es, pues, una formulación abstracta de una tarea, independientemente de la solución particular que la materializa.

La función global (**Figura 26**) representa la tarea global que debe realizar el producto que se va a diseñar y se establece como una caja negra que relaciona los flujos de entrada y los de salida. Sin embargo, esta presentación es muy esquemática y, para obtener una representación más precisa, hay que dividir la función global en subfunciones (correspondientes a subtareas) y a la vez, establecer las relaciones de flujos entre estas subfunciones.

La representación del conjunto de subfunciones con las entradas y salidas así como las interrelaciones de flujos entre ellas se denomina estructura funcional y se la representa en el **ANEXO H** para el diseño del hogar y la chimenea.

2.1.7. MODOS DE OPERACIÓN

La tesis doctoral de Joan Cabarrocas [Cab, 1999] introduce el concepto de modo de operación que se define como cada uno de los comportamientos (o maneras de funcionar) que puede desarrollar un producto o sistema durante su ciclo de vida. Y aun añade una clasificación de estos modos de operación en:

- **Modos de operación principales.-** Son aquellos que se derivan de la realización de la función principal en condiciones normales de funcionamiento
- **Modos de operación ocasionales.-** Son aquellos que deben darse de manera puntual para la correcta realización de los modos de funcionamiento principales (puesta en marcha y paro, periodos de inactividad, limpieza y recarga, mantenimiento y reparación, programación y ajuste)

- **Modos de operación accidentales.-** Son aquellos que se producen de manera fortuita y no deseada con posibles daños para el sistema y el entorno (bloqueos y retenciones, conexión y desconexión involuntaria, caídas y golpes, situaciones ambientales extremas).

2.1.8. MÓDULOS E INTERFACES

El análisis funcional de un producto o sistema y la elaboración de la estructura funcional es un primer paso para establecer su estructura modular (la mayor parte de diseñadores realizan estos procesos sin formalizarlos), a partir de combinar las diversas funciones en módulos de forma que se consigan los dos objetivos prioritarios siguientes:

a. AGRUPAR LAS FUNCIONES EN MÓDULOS

Es conveniente que cada una de las funciones sea realizada por un solo módulo. En caso de no ser posible, hay que delimitar convenientemente la parte de la función que realiza cada módulo y sus interrelaciones (ver en el párrafo siguiente las consideraciones sobre las interfaces). El establecer una estructura modular subdividida en mayor o menor grado es uno de los criterios que hay que analizar cuidadosamente, lo que se trata en la última sección.

b. ESTABLECER INTERFACES ADECUADAS ENTRE MÓDULOS

Interface es cualquier superficie real o imaginaria entre dos módulos de un sistema, a través de la cual se establece alguna de las siguientes relaciones: unión mecánica, flujo de energía, flujo de materiales o flujo de señales.

- **Interface mecánica.-** Superficie por medio de la cual se establece una unión mecánica entre dos módulos de un producto o sistema. Esta unión puede ser fija, si no permite el movimiento relativo entre las partes, o móvil (también enlace), si lo permite (función de una determinada geometría de contacto).

- **Interface de energía.-** Superficie a través de la cual se establece un flujo de energía entre módulos de un producto o sistema (en casos límites, también de fuerzas, deformaciones o movimientos). Las interfaces de energía más frecuentes son las de alimentación eléctrica, de aire comprimido y de fluido hidráulico.
- **Interface de transferencia de materiales.-** Superficie a través de la cual se establece un flujo de material entre módulos de un producto o sistema. Por ejemplo, la alimentación de materia prima y la retirada de piezas acabadas en un torno.
- **Interface de señal.-** Superficie a través de la cual se establece un flujo de señal entre módulos de un producto o sistema. Por ejemplo, la comunicación de la imagen entre la unidad central y la pantalla de un ordenador.

Lamentablemente, a menudo se parte en los diseños de un análisis limitado a las interfaces mecánicas e insuficiente por lo que respecta a otros flujos. Ello puede acarrear que los "detalles" de última hora (cableados, conducciones, alimentación de materiales), se transformen en problemas de muy difícil solución en una etapa del proyecto en la que las principales decisiones han sido tomadas.

c. SIMBOLOGÍA

Para facilitar la representación de las funciones y de los flujos en la estructura funcional de un producto o sistema, es conveniente disponer de símbolos adecuados cuya utilización sea lo suficientemente flexible.

En este texto se adoptará fundamentalmente la simbología propuesta por la norma VDI 2222 que tiene la virtud de que, sin limitar las funciones a las estrictamente matemáticas o lógicas, y sin obligar a precisar ni a cuantificar las variables de los flujos, permite establecer una estructura funcional suficientemente articulada que sirva de guía para fijar la estructura modular del producto o sistema y para generar los principios de solución.

Las descripciones de los diferentes conceptos se realizan de la siguiente manera:

- **Funciones.-** Se sitúan dentro del rectángulo y preferentemente se definen con un verbo seguido de un predicado: transferir pieza; mover brazo; controlar position.
- **Flujos.-** Su objeto se indica encima de las flechas correspondientes: de pieza en bruto, acabada; de alimentación eléctrica, de accionamiento del cabezal; de señal de puesta en marcha, de posición.
- **Sistema, subsistemas y módulos.-** Se indica encima y a mano izquierda del polígono que los delimita.

2.1.9. DIAGRAMA FUNCIONAL PARA EL DISEÑO DEL HOGAR Y LA CHIMENEA

En el presente apartado se muestra el diagrama que representa la función global para el diseño del hogar y la chimenea.

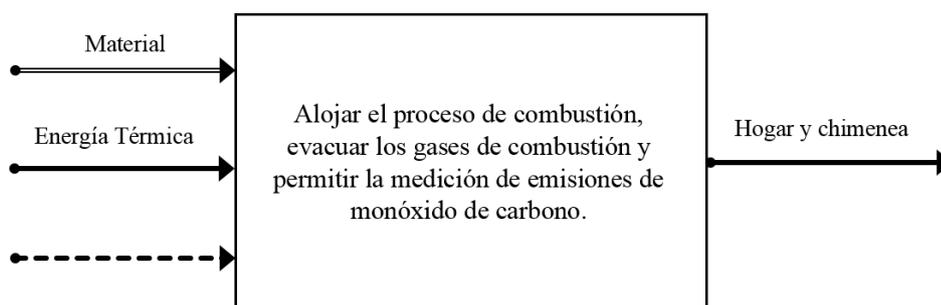


Figura 26. Función global.

En el **ANEXO H** se indica la representación de la estructura funcional para el diseño del hogar y la chimenea.

2.1.10. DIVISIÓN POR MÓDULOS

Para efecto de analizar más profundamente los componentes de las funciones del sistema de hogar de combustión del quemador, se realizará la división modular la misma que se constituye de dos módulos los cuales se presentan en el **ANEXO I**.

2.1.11. SOLUCIONES A LOS MÓDULOS

En este apartado se efectuará el planteamiento de posibles soluciones para la satisfacción de las funciones que contiene cada uno de los módulos.

a. SOLUCIÓN AL MÓDULO 1

Consta de lo siguiente:

1. **Soporte del Hogar.-** Soportar las cargas muertas del hogar de combustión.
2. **Soporte del Quemador.-** Soportar las cargas muertas del quemador.
3. **Hogar de Combustión.-** Soportar las cargas térmicas producto de la combustión.
4. **Sistema de Sujeción.-** Brindar sujeción segura a los componentes del sistema del hogar de combustión.
5. **Chimenea.-** Facilitar la salida de gases de combustión, a la vez alojar instrumentos de medición.

Las alternativas de solución se las plantea en la **Tabla 11**.

Tabla 11.
Alternativas de solución MÓDULO 1.

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|-----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| Soporte del hogar | Un solo cuerpo | Estructura con perfiles | Suspendida al techo |
| Soporte del quemador | Un solo cuerpo | Estructura con perfiles | Suspendida al techo |
| Hogar de combustión | Triangular | Octaedro con extremo plano | Tronco de cono |
| Sistema de sujeción | Pernos | Remaches | Soldadura |
| Chimenea | Ducto redondo | Ducto cuadrado | Ducto poligonal |

b. SOLUCIÓN AL MÓDULO 2

Consta de lo siguiente:

1. **Instrumentos Instalados.-** Medir las emisiones de monóxido de carbono.

Tabla 12.
Alternativas de solución MÓDULO 2.

| | alternativa 1 | alternativa 2 | alternativa 3 |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Instrumentos instalados | Voladizo | Habitáculo | Flotante |

2.1.12. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Matriz de priorización.- Es una herramienta que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de criterios. Hace posible, determinar alternativas y los criterios a considerar para adoptar una decisión, priorizar y clarificar problemas, oportunidades de mejora y proyectos y, en general, establecer prioridades entre un conjunto de elementos para facilitar la toma de decisiones.

La aplicación de la matriz de priorización conlleva un paso previo de determinación de las opciones sobre las que decidir, así como de identificación de criterios y de valoración del peso o ponderación que cada uno de ellos tendrá en la toma de decisiones.

La matriz de priorización consiste en la especificación del valor de cada criterio seleccionado para, posteriormente, analizar mediante el despliegue de distintas matrices tipo-L, el grado en que cada opción cumple con los criterios establecidos.

Para el diseño del hogar de combustión se procede a plantear las matrices de priorización para cada uno de los módulos, tomando en cuenta los criterios de medición descubiertos en el proceso del despliegue de la calidad por medio de la casa de la calidad:

1. Selección del material
2. Densidad del material
3. Resistencia a la fatiga
4. Resistencia Mecánica
5. Resistencia Térmica
6. Geometría de Ensamblaje

7. Geometría de Diseño

a. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN AL MÓDULO 1

Para la selección de la solución del MÓDULO 1 se realizan matrices de priorización que se muestran en la **Tabla 13**, **Tabla 14**, **Tabla 15**, **Tabla 16**, **Tabla 17**.

Tabla 13.
Solución para el soporte del hogar.

| FACTOR | Alternativa | | UN SOLO CUERPO | ESTRUCTURAS CON PERFILES | SUSPENDIDA EN EL TECHO |
|--------|----------------------------|--|----------------|--------------------------|------------------------|
| | Criterio | | | | |
| 0,3 | 1. Selección del material | | 9,00 | 9,00 | 7,00 |
| | | | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| 0,15 | 2. Densidad del material | | 9,00 | 8,00 | 7,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 3. Resistencia a la fatiga | | 6,00 | 8,00 | 6,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 4. Resistencia Mecánica | | 8,00 | 9,00 | 7,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 5. Resistencia Térmica | | 7,00 | 8,00 | 7,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,05 | 6. Geometría de Ensamblaje | | 4,00 | 9,00 | 5,00 |
| | | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 0,05 | 7. Geometría de Diseño | | 3,00 | 9,00 | 7,00 |
| | | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | | | 10,45 | 17,15 | 13,45 |

Tabla 14.
Solución para el soporte del quemador.

| FACTOR | Alternativa | | UN SOLO CUERPO | ESTRUCTURAS CON PERFILES | SUSPENDIDA EN EL TECHO |
|--------|----------------------------|--|----------------|--------------------------|------------------------|
| | Criterio | | | | |
| 0,3 | 1. Selección del material | | 8,00 | 9,00 | 6,00 |
| | | | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| 0,15 | 2. Densidad del material | | 9,00 | 8,00 | 7,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 3. Resistencia a la fatiga | | 6,00 | 9,00 | 6,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 4. Resistencia Mecánica | | 7,00 | 9,00 | 6,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 5. Resistencia Térmica | | 7,00 | 9,00 | 6,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,05 | 6. Geometría de Ensamblaje | | 8,00 | 9,00 | 5,00 |
| | | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 0,05 | 7. Geometría de Diseño | | 9,00 | 9,00 | 7,00 |
| | | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | | | 16,2 | 17,45 | 12,85 |

Tabla 15.
Solución para el hogar de combustión.

| FACTOR | Alternativa Criterio | TRIANGULAR | OCTAEDRO CON EXTREMO PLANO | TRONCO DE CONO |
|--------|----------------------------|------------|-------------------------------|----------------|
| 0,3 | 1. Selección del material | 8,00 | 9,00 | 7,00 |
| | | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| 0,15 | 2. Densidad del material | 9,00 | 8,00 | 7,00 |
| | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 3. Resistencia a la fatiga | 7,00 | 9,00 | 6,00 |
| | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 4. Resistencia Mecánica | 9,00 | 9,00 | 9,00 |
| | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 5. Resistencia Térmica | 8,00 | 9,00 | 8,00 |
| | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,05 | 6. Geometría de Ensamblaje | 3,00 | 9,00 | 2,00 |
| | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 0,05 | 7. Geometría de Diseño | 3,00 | 9,00 | 3,00 |
| | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | | 10,55 | 17,45 | 9,75 |

Tabla 16.
Solución para las sujeciones.

| FACTOR | Alternativa Criterio | PERNOS | REMACHES | SOLDADURA |
|--------|----------------------------|--------|----------|-----------|
| 0,3 | 1. Selección del material | 9,00 | 7,00 | 7,00 |
| | | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| 0,15 | 2. Densidad del material | 9,00 | 8,00 | 7,00 |
| | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 3. Resistencia a la fatiga | 9,00 | 9,00 | 6,00 |
| | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 4. Resistencia Mecánica | 9,00 | 9,00 | 6,00 |
| | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 5. Resistencia Térmica | 9,00 | 8,00 | 6,00 |
| | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,05 | 6. Costos | 9,00 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 0,05 | 7. Mantenimiento | 9,00 | 6,00 | 1,00 |
| | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | | 17,6 | 13,7 | 7,15 |

Tabla 17.
Solución para la chimenea.

| FACTOR | Criterio | Alternativa | DUCTO CIRCULAR | DUCTO CUADRADO | DUCTO POLIGONAL |
|--------|---------------------------|-------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0,3 | 1. Selección del material | | 9,00 | 9,00 | 9,00 |
| | | | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| 0,15 | 2. Densidad del material | | 9,00 | 9,00 | 9,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 3. Fabricación | | 7,00 | 9,00 | 4,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 4. Resistencia Mecánica | | 9,00 | 9,00 | 9,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,15 | 5. Resistencia Térmica | | 7,00 | 8,00 | 7,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,05 | 6. Costos | | 7,00 | 9,00 | 7,00 |
| | | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 0,05 | 7. Mantenimiento | | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| | | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | | | 15,9 | 16,45 | 15,45 |

b. CONCLUSIÓN DE LA SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL MÓDULO 1

Para los distintos componentes del MÓDULO 1, las soluciones han quedado establecidas de la **Tabla 18**.

Tabla 18.
Conclusión de la selección de la solución del módulo 1.

| | |
|-----------------------------|----------------------------|
| Soporte del hogar | Estructura con perfiles |
| Soporte del quemador | Estructura con perfiles |
| Hogar de combustión | Octaedro con extremo plano |
| Sistema de sujeción | Pernos |
| Chimenea | Ducto cuadrado |

c. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN AL MÓDULO 2

Se considera los mismos criterios del MÓDULO 1 debido a que estos dos forman el sistema del hogar de combustión, así la matriz de evaluación se muestra.

Tabla 19.

Solución para los instrumentos instalados.

| FACTOR | Criterio | Alternativa | VOLADIZO | HABITÁCULO | FLOTANTE |
|--------|-----------------------------|-------------|----------|------------|----------|
| 0,3 | 1. Selección del material | | 9,00 | 9,00 | 9,00 |
| | | | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| 0,2 | 2. Instalación | | 9,00 | 6,00 | 7,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,2 | 3. Presición de la medición | | 9,00 | 8,00 | 9,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,1 | 4. Mantenibilidad | | 9,00 | 5,00 | 9,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,1 | 5. Resistencia Térmica | | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| | | | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 0,1 | 6. Costos | | 9,00 | 5,00 | 9,00 |
| | | | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | | | 8,4 | 7 | 8,1 |

d. CONCLUSIÓN DE LA SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL MÓDULO 2

La solución para la instalación de los instrumentos será en voladizo dentro de la garganta de la chimenea.

2.1.13. DISEÑO TÉRMICO DEL HOGAR

Para el diseño del hogar de combustión, se requiere asumir dimensiones en función de las características de longitud de la llama a máximo régimen del quemador, en este caso es aproximadamente de 1m. (Se aproxima dado que este valor depende de los parámetros de combustión.) De tal manera que se ha configurado la estructura la cual se procede a validar mediante el siguiente proceso:

a. Cálculos manuales.

- b. Simulación CFD (Computational Fluid Dynamic) del hogar de combustión, la cual brinda un estudio de transferencia de calor en el interior del hogar.
- c. Simulación de estado térmico, realizada en el software Ansys con el módulo Static Structural.

a. CÁLCULO MANUAL

En ausencia de cualquier interacción de trabajo y cualesquier cambio en las energías cinéticas y potencial, la energía química liberada durante un proceso de combustión se pierde como calor hacia los alrededores o se usa internamente para elevar la temperatura de los productos de combustión. Cuanta más pequeña es la pérdida de calor, tanto mayor resulta el aumento de temperatura. En el caso límite de no pérdida de calor hacia los alrededores ($Q = 0$), la temperatura de los productos alcanzara un máximo conocido como temperatura de flama adiabática o de combustión adiabática de la reacción. Este es un valor que se requiere conocer para determinar el punto máximo de temperatura al combustionar el diésel lo que permitirá asumir una carga térmica en la simulación estructural del hogar de combustión.

Como se anteriormente se mencionó para la combustión es siempre necesario combustible, aire y energía de encendido, así también siempre que se quemé un combustible producirá productos o gases de combustión como indica la **Figura 27**.



Figura 27. Esquema del proceso de combustión.

La temperatura de flama adiabática de un proceso de combustión de flujo permanente se determina de la ecuación:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{n}_p (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_p - \sum \dot{n}_r (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_r \quad [\text{kJ/s}]$$

Fijando $Q = 0$ y $W = 0$

$$H_{\text{prod}} = H_{\text{react}}$$

$$\sum \dot{n}_p (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_p = \sum \dot{n}_r (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_r$$

Una vez que se especifican los reactivos y sus estados, la entalpía de los reactivos H_{react} puede determinarse fácilmente. Sin embargo, debido a que la temperatura de los productos no se conoce antes de los cálculos, el cálculo de la entalpía de los productos H_{prod} no es directo. Por consiguiente, la determinación de la temperatura de flama adiabática requiere el uso de una técnica iterativa a menos que se dispongan ecuaciones para los cambios de entalpía sensible de los productos de combustión. Se supone una temperatura para los gases producto, y la H_{prod} se determina para esta temperatura. Si esta no es igual a H_{react} , los cálculos se repiten con otra temperatura. La temperatura de flama adiabática se determina luego a partir de estos dos resultados mediante interpolación. Cuando el oxidante es aire, los gases producto se componen principalmente de N_2 y una buena primera suposición para la temperatura de flama adiabática se obtiene tratando todos los gases producto como N_2 .

En los hogares de combustión la temperatura más alta a la cual un material puede exponerse está limitada por consideraciones metalúrgicas. Por consiguiente, la temperatura de flama adiabática es una consideración importante en el diseño de los hogares de combustión, las turbinas de gas y las toberas. Las máximas temperaturas en estos dispositivos son considerablemente menores que la temperatura de flama adiabática; sin embargo, puesto que la combustión suele ser incompleta, se presentan algunas pérdidas, y algunos gases de combustión se disocian a altas temperaturas.

La temperatura máxima en una cámara de combustión puede controlarse ajustando la cantidad de exceso de aire, el cual sirve como refrigerante.

Se advierte que la temperatura de flama adiabática de un combustible no es única, su valor depende de:

- El estado de los reactivos.
- El grado al que completa la reacción.

- Y la cantidad de aire utilizado.

Para un combustible especificado a un estado especificado que se quema con aire a un estado especificado, la temperatura de flama adiabática alcanza su máximo cuando sucede la combustión completa con la cantidad de aire teórica.

La temperatura máxima encontrada en un hogar de combustión es menor que la temperatura de flama adiabática teórica por la pérdida de calor como lo muestra la **Figura 28**.

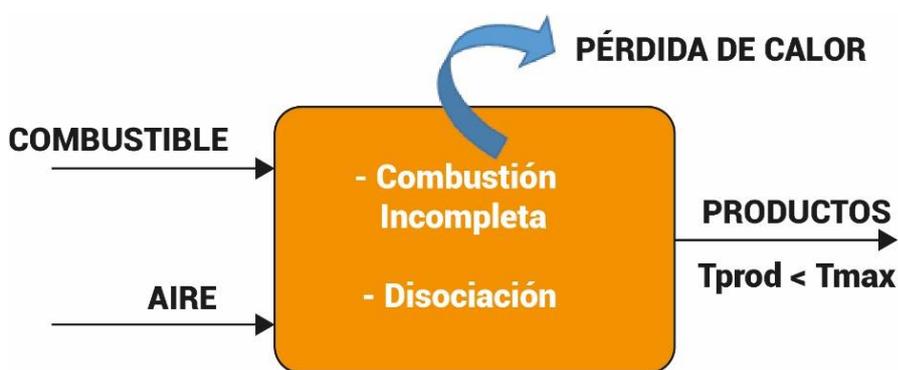
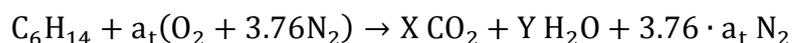


Figura 28. Esquema de pérdida de calor en el proceso de combustión.

Al hogar de combustión entra hexano líquido (C_6H_{14}), a 3 atmosferas y $22\text{ }^\circ\text{C}$, y se quema con aire que entra al hogar de combustión en el mismo estado. Se descarta cualesquier cambio en la energía cinética y potencial y se determina la temperatura de flama adiabática para combustión completa con **100%** de aire teórico.

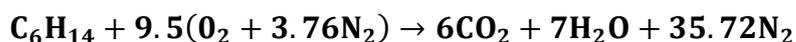


$$X = 6$$

$$Y = 7$$

$$2 \cdot a_t = 2 \cdot 6 + 7$$

$$a_t = 9,5$$



En la **Tabla 20** se presentan las características de algunos de los productos de la combustión.

Tabla 210.
Características de algunos productos de la combustión.

| Productos | N° moles | h_f° [KJ/Kmol] | h_{298k} [KJ/Kmol] | $n(h_f^\circ + h - h_{298k})$ |
|------------------|----------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|
| CO ₂ | 6 | -393520 | 9364 | 6CO ₂ - 2417304 |
| H ₂ O | 7 | -241820 | 9904 | 7H ₂ O - 1762068 |
| N ₂ | 35.72 | 0 | 8669 | 35.72N ₂ - 309656.68 |

En la **Tabla 21** se presentan las características de los reactivos para la combustión.

Tabla 211.
Características de los reactivos para la combustión.

| Reactivos | N° moles | h_f° [KJ/Kmol] | h_{298k} [KJ/Kmol] | $n(h_f^\circ + h - h_{298k})$ |
|--------------------------------|----------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|
| C ₆ H ₁₄ | 1 | -198700 | - | -198700 |
| O ₂ | 9.5 | 0 | 8682 | 0 |
| N ₂ | 35.72 | 0 | 8669 | 0 |

$$6\text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + 35.72\text{N}_2 = 4290328.68[\text{KJ}]$$

$$\frac{4290328.68}{6 + 7 + 35.72} = 88060.93[\text{KJ}/\text{Kmol}]$$

Considerando que la mayor cantidad de moles de los productos corresponden a N₂, se utilizara este elemento como referencia para buscar la temperatura según el valor de entalpia calculado.

$$\bar{h} = 88060.93[\text{KJ}/\text{Kmol}] \rightarrow T_{\text{máx}} \approx 2639[^\circ\text{K}]$$

(Pero la temperatura será menor a 2639[°K])

Por lo tanto una aproximación a la temperatura buscada podría ser: 2300[°K], 2350[°K] o 2400[°K].

La entalpia necesaria para el cálculo de la temperatura de flama adiabática se muestra en la **Tabla 22**.

Tabla 22.
Entalpias de algunos productos de la combustión.

| Productos | h_{2300} [KJ/Kmol] | h_{2350} [KJ/Kmol] | h_{2400} [KJ/Kmol] |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| \bar{h}_{CO_2} | 119035 | 122091 | 125152 |
| $\bar{h}_{\text{H}_2\text{O}}$ | 98199 | 100846 | 103608 |
| \bar{h}_{N_2} | 75676 | 77406 | 79320 |

$$(2300[^\circ\text{K}]) \rightarrow 6\text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + 35.72\text{N}_2$$

$$= 6 \cdot 119035 + 7 \cdot 98199 + 35.72 \cdot 75676 = 4104749.72 \text{ [KJ]}$$

$$(2350[^\circ\text{K}]) \rightarrow 6\text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + 35.72\text{N}_2$$

$$= 6 \cdot 122091 + 7 \cdot 100846 + 35.72 \cdot 77406 = \mathbf{4203410.32 \text{ [KJ]}}$$

$$(2400[^\circ\text{K}]) \rightarrow 6\text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + 35.72\text{N}_2$$

$$= 6 \cdot 125152 + 7 \cdot 103608 + 35.72 \cdot 79320 = \mathbf{4309478.4 \text{ [KJ]}}$$

Como el valor que se calculó anteriormente corresponde a **4290328.68[KJ]** y luego de los resultados obtenidos con las entalpias a las temperaturas estimadas, se deduce que la temperatura de flama adiabática para el hexano corresponde a un valor que se encuentra en el rango de **(2350[°K] – 2400[°K])**.

Para determinar los valores precisos para calcular la temperatura de flama adiabática se necesitan los valores interpolados que se indican en la **Tabla 23**.

Tabla 23.
Interpolación.

| | | | |
|----------|-----------------------|----------|-----------------|
| A | 4203410.32[KJ] | D | 2350[°K] |
| B | 4290328.68[KJ] | T | [°K] |
| C | 4309478.4[KJ] | E | 2400[°K] |

$$T = D + (E - D) \cdot \frac{(B - A)}{(C - A)}$$

$$\therefore \mathbf{T = 2390.97[^\circ\text{K}]}$$

b. SIMULACIÓN CFD.

Se procedió a ejecutar este análisis mediante el software de versión estudiantil Autodesk CFD Simulation.

Los parámetros ingresados son:

- Temperatura de quema de mezcla 200°C.
- Presión de ingreso de la mezcla 3 bares.
- Velocidad de ingreso de los gases 12m/s.

<< Valores que han sido referenciados de un modelo estándar de combustión en hogares de calderos con un quemador de características similares al del presente caso >>.

Los resultados encontrados se muestran en la **Figura 29**, **Figura 30** y la **Figura 31**:

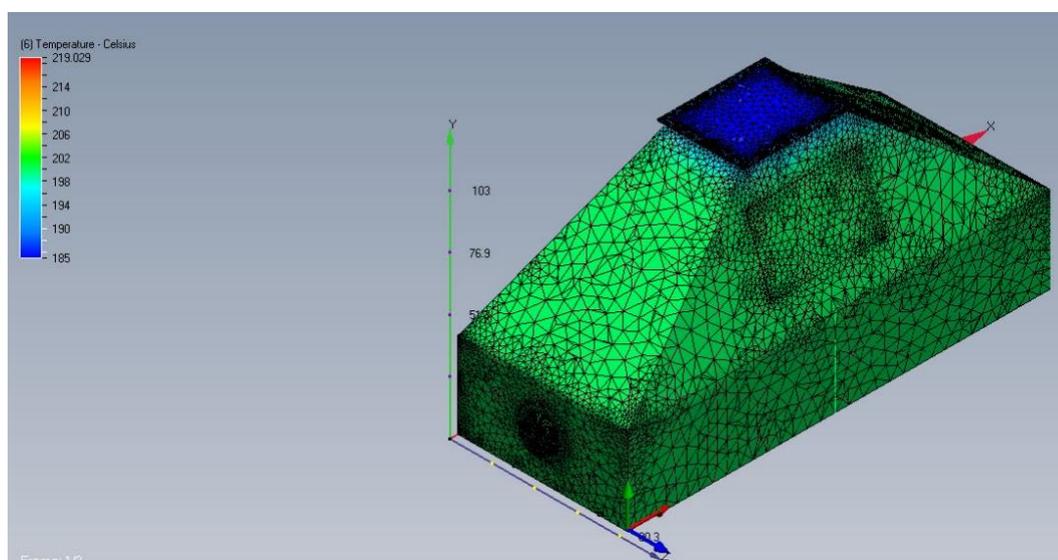


Figura 29. Temperatura en el volumen correspondiente a gases de la combustión en el hogar.

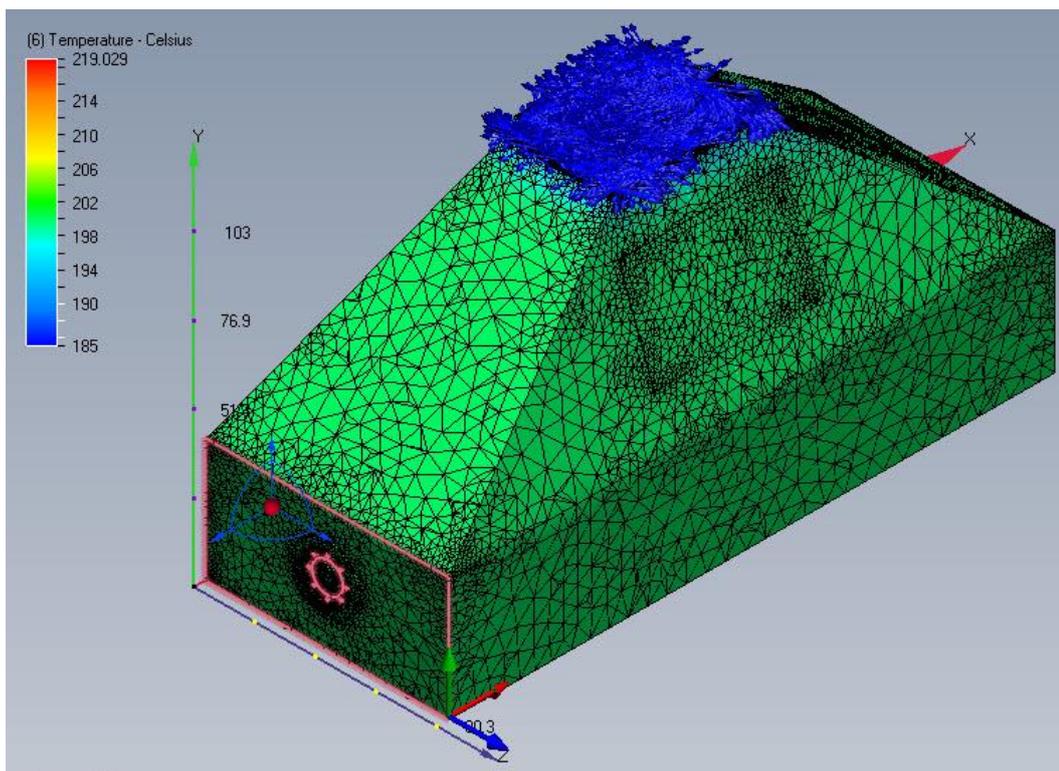


Figura 30. Temperatura de gases de combustión en el hogar, muestra el fluido de gases a 185°C a la salida.

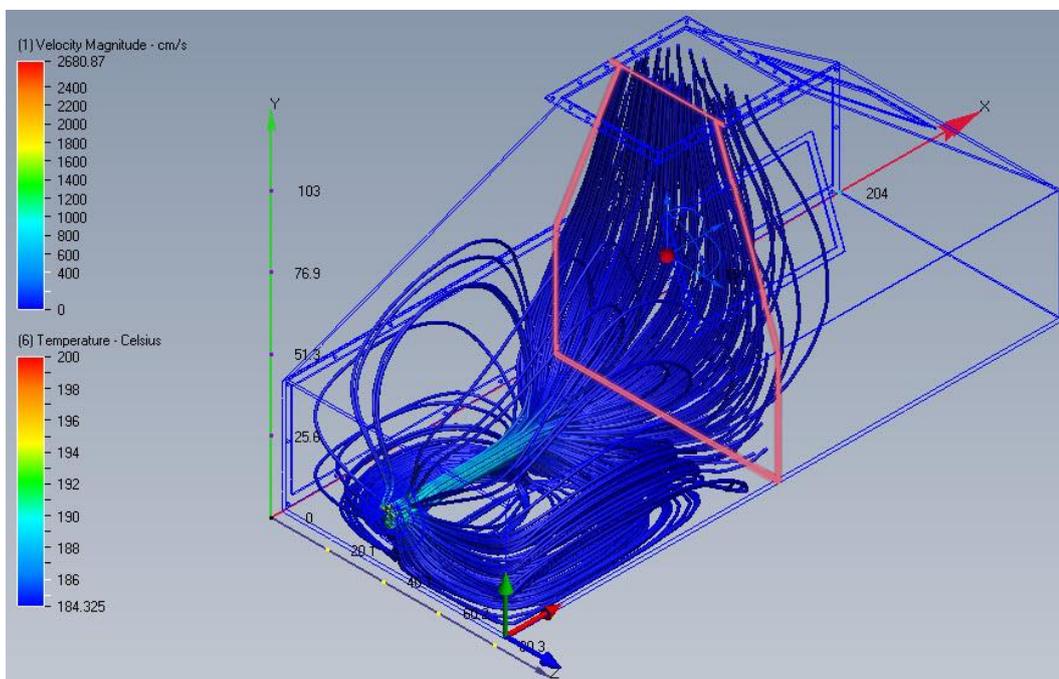


Figura 31. Expresión vectorial de la salida de gases de combustión en el hogar.

c. SIMULACIÓN DE ESTADO TÉRMICO

Mediante el estudio de estado térmico (**Figura 32**) se determinará que el factor de seguridad del hogar de combustión para la carga de 200°C es mayor a quince, por lo cual se acepta el diseño, pese a existir un elevado valor de factor de seguridad en virtud que el quemador puede cambiar sus parámetros de combustión en función de la mezcla utilizada y sus regímenes de trabajo.

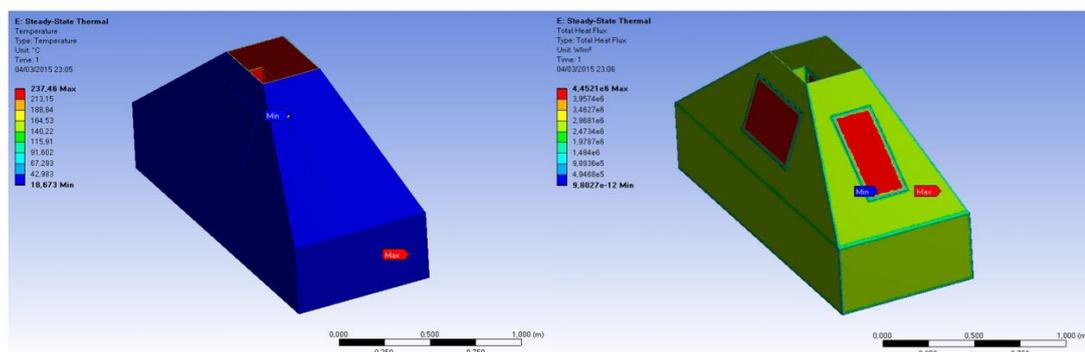


Figura 32. Simulación de estado térmico.

2.1.14. DIMENSIONES Y GEOMETRÍA DEL HOGAR Y LA CHIMENEA

Partiendo de lo obtenido en el despliegue del proceso de diseño concurrente ahora se procede a determinar las dimensiones y el material que soporten las condiciones de trabajo a las cuales estará sometido el hogar de combustión, de tal manera que se asumen las medidas para luego verificarlas mediante un proceso de análisis matemático así como computacional.

El presente proyecto requiere para el diseño del hogar de combustión la estimación de las dimensiones del mismo con fundamento en las características del quemador en cuanto a la longitud de llama máxima que puede lograr.

De tal manera que se efectuará un dibujo CAD que permite generar criterios dimensionales del hogar y su chimenea.

En función de las dimensiones antes logradas se determinará las características geométricas y espaciales de la estructura de soporte del hogar.

Cabe indicar que todo el trabajo desarrollado en el proceso CAD toma como base fundamental lo obtenido en el despliegue de la función de la calidad anteriormente expuesta.

A continuación en la **Figura 33** se presenta las dimensiones y forma básica del hogar de combustión.

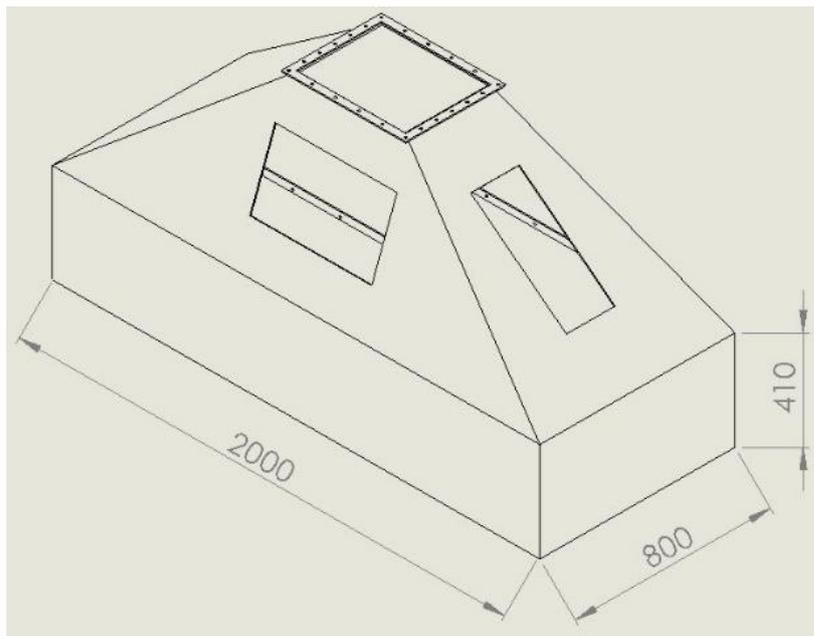


Figura 33. Hogar de combustión.

De igual manera **Figura 34**, **Figura 35**, **Figura 36** se presentan las dimensiones y formas básicas de los elementos que conforman la chimenea.

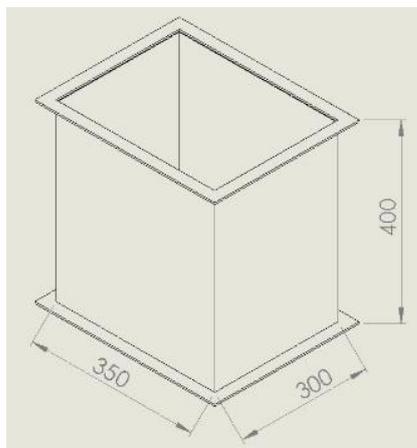


Figura 34. Primer segmento de la chimenea.

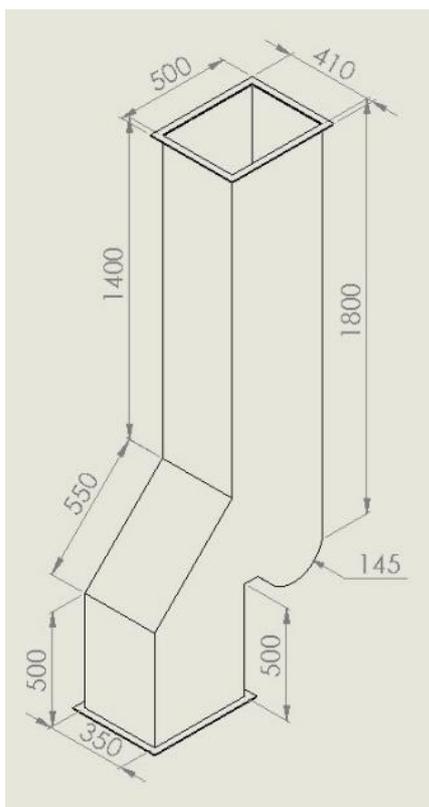


Figura 35. Segundo segmento de la chimenea (Garganta).

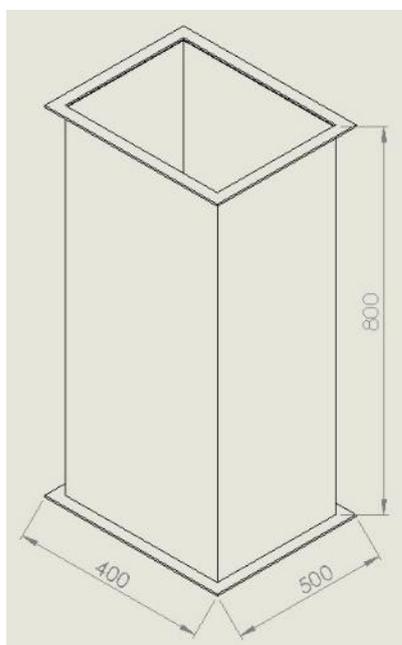


Figura 36. Tercer segmento de la chimenea.

La **Figura 37** muestra el ensamble del hogar de combustión y todos los segmentos de la chimenea.

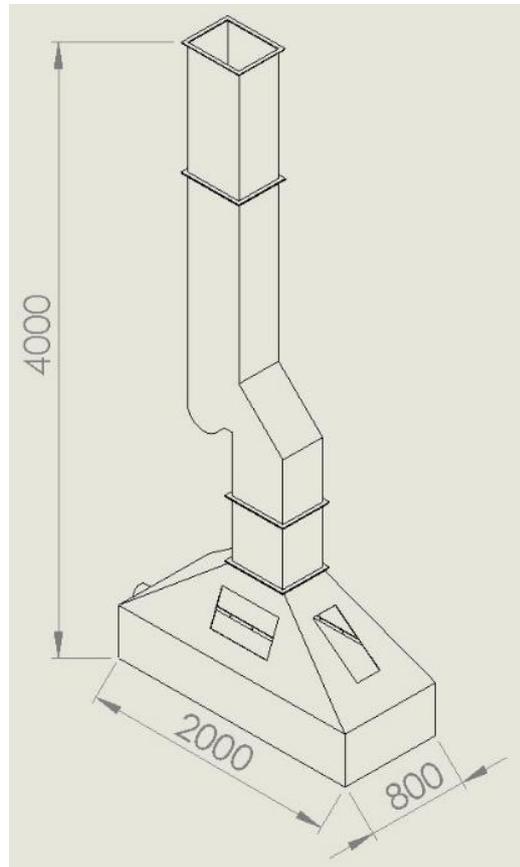


Figura 37 Cuerpo del hogar y la chimenea.

En el **ANEXO J** se presentan las láminas acotadas del hogar de combustión, de cada uno de los segmentos que constituyen la chimenea.

2.1.15. SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL HOGAR

Se seleccionó el material idóneo para esta aplicación mediante el uso de la herramienta computacional CES Selector en su versión educativa.

Este software es una base de datos de toda la clasificación de los materiales existentes para aplicaciones en ingeniería. Su principio de funcionamiento exige que se generen las características que el material en cuestión debe cumplir para garantizar un buen funcionamiento.

Desde este punto de vista se han determinado las características que debe cumplir el material del cual se constituya el hogar de combustión, las mismas que las menciona a continuación:

1. Resistente a efectos térmicos
2. Liviano
3. Bajo Costo
4. Resistente estructuralmente.

Con estos parámetros a cumplirse ya determinados de forma clara, se procedió a configurar el CES Selector como se muestra en la **Figura 38**.

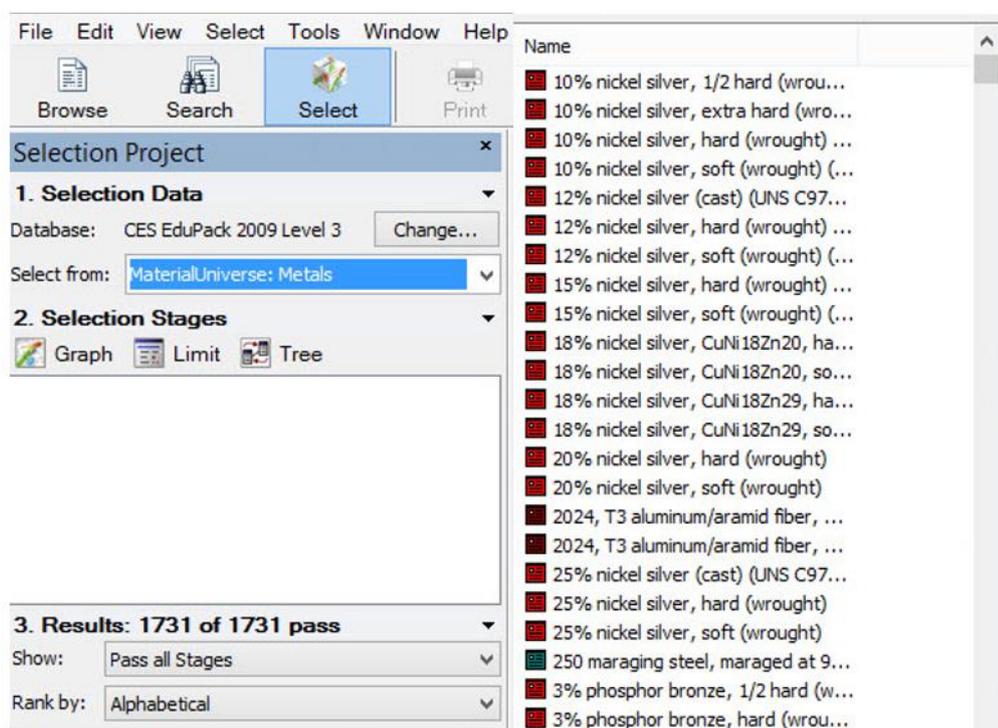


Figura 38. Selección de material (primer filtro).

Primeramente se realizó un primer filtro en el cual se escogió el metal como subclasificación inicial.

Seguidamente se procedió a configurar los límites o restricciones que el material debe cumplir como lo muestra la siguiente **Figura 39**.

Click on the headings to show/hide selection criteria

▼ **General properties**

| | Minimum | Maximum | |
|---------|---------|---------|-------------------|
| Density | 7850 | 7850 | kg/m ³ |
| Price | | | USD/kg |

► **Composition overview**

► **Composition detail**

▼ **Mechanical properties**

| | Minimum | Maximum | |
|--------------------------------------------|---------|---------|----------------------|
| Young's modulus | 200055 | 200055 | GPa |
| Shear modulus | | | GPa |
| Bulk modulus | | | GPa |
| Poisson's ratio | 0 | 0 | |
| Shape factor | | | |
| Yield strength (elastic limit) | 250 | 250 | MPa |
| Tensile strength | 400 | 550 | MPa |
| Compressive strength | | | MPa |
| Flexural strength (modulus of rupture) | | | MPa |
| Elongation | | | % |
| Hardness - Vickers | | | HV |
| Fatigue strength at 10 ⁷ cycles | | | MPa |
| Fatigue strength model (stress range) | | | MPa |
| Fracture toughness | | | MPa.m ^{1/2} |
| Mechanical loss coefficient (tan delta) | | | |

► **Impact properties**

▼ **Thermal properties**

| | Minimum | Maximum | |
|-----------------------------|---------|---------|--------|
| Melting point | | | °C |
| Glass temperature | | | °C |
| Maximum service temperature | | | °C |
| Minimum service temperature | | | °C |
| Thermal conductivity | | 50.2 | W/m.K |
| Specific heat capacity | | | J/kg.K |

Figura 39. Restricciones que el material debe cumplir.

Posteriormente se realizó el segundo filtro de datos como se muestra en la **Figura 40.**

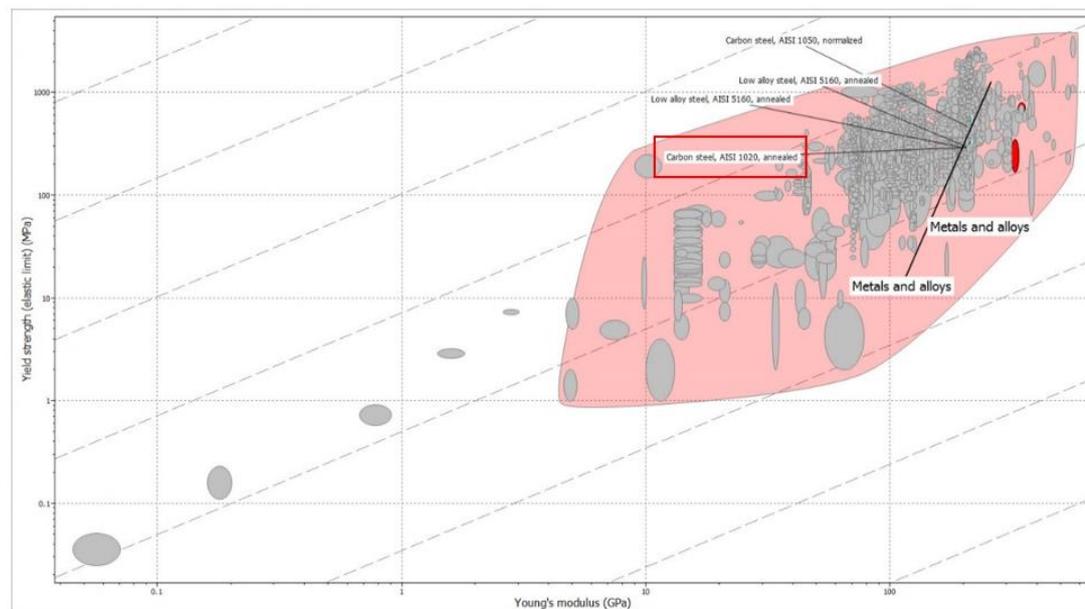


Figura 40. Selección de material (segundo filtro).

Lo que se puede concluir al respecto es que hay 117 materiales que pueden ser usados en este tipo de aplicación, pero obviamente de ellos es menester escoger el más adecuado en función de la disponibilidad en el mercado ecuatoriano y latacungueño. Resulta ser el **AISI 1020** o **ASTM A36** el material que se seleccionó (**Figura 41**) para el hogar de combustión.

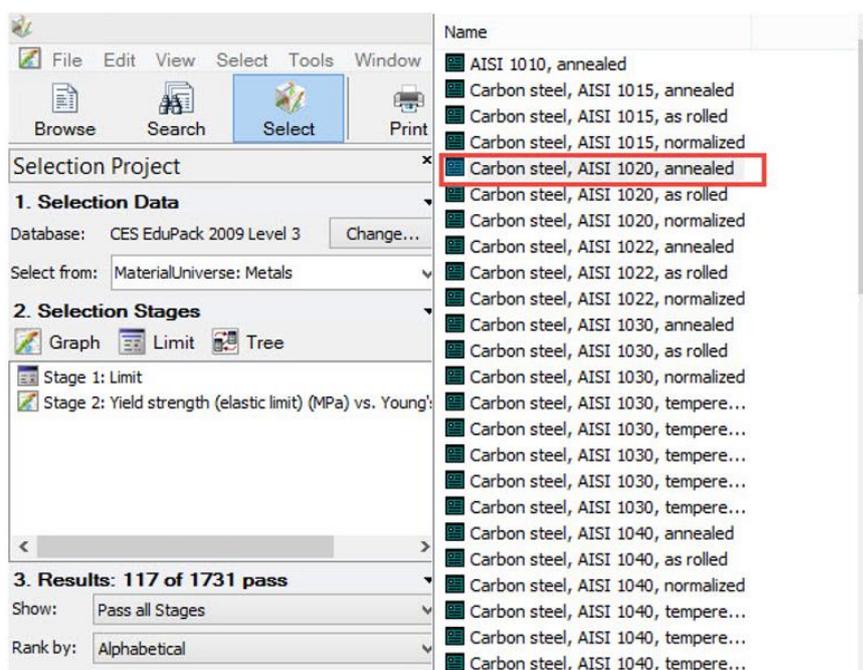


Figura 41. Selección del material AISI 1020 o ASTM A36.

Las características del material **AISI 1020** o **ASTM A36** se presentan en el **ANEXO K**.

2.1.16. AISLAMIENTO DE LA PAED DEL HOGAR

Para el diseño aislamiento de la pared del hogar se utilizó el software ANSYS APDL, se graficó los dos materiales que intervienen en la construcción de la pared en este caso el acero ASTM A36 y la lana de vidrio como se muestra en la **Figura 42**. Se constituyó en el software ANSYS APDL la sección de la pared según lo determinan las dimensiones del horno original, y se colocó los valores pertinentes de condiciones de borde, tal es el caso de la temperatura y del coeficiente de convección.

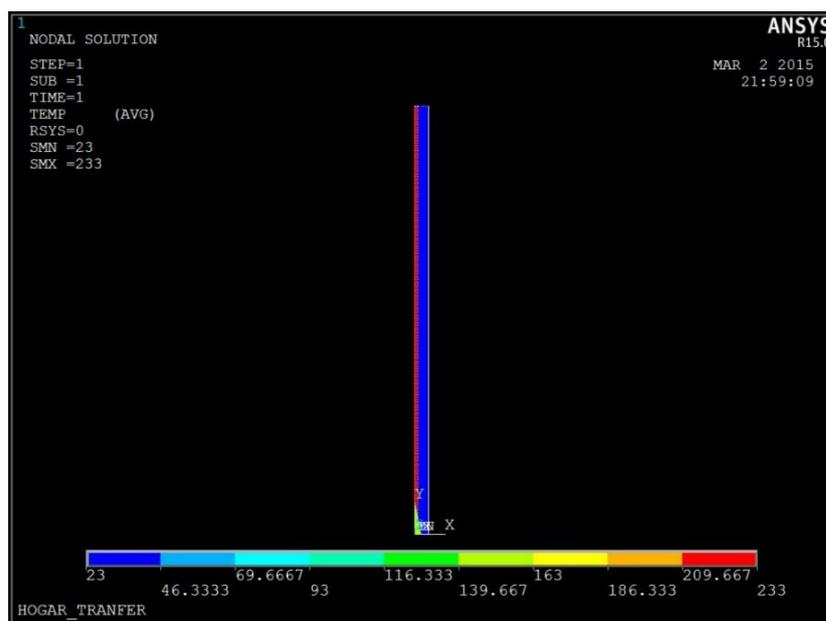


Figura 42. Pared del hogar.

Se ubicó la temperatura que anteriormente se obtuvo en el estudio de transferencia de calor con el ANSYS, que fue de 233°C , como se puede observar en la **Figura 43**, la transferencia de calor en la pared se sucede y da un resultado a la salida de la pared donde está la fibra de vidrio de 23°C , lo cual se considera aceptable como temperatura de salida del sistema tanto para su funcionamiento así como por conceptos de seguridad en el entorno del mismo.

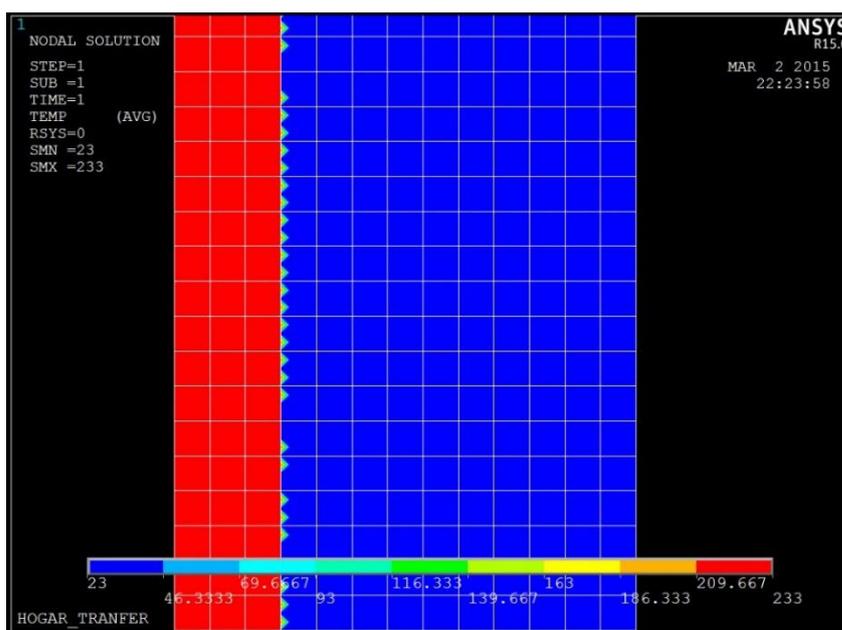


Figura 43. Análisis de la pared del hogar.

En la **Figura 44** se puede observar con más detalle el mallado efectuado en la sección de la pared del hogar y el proceso inicial de transferencia de calor.

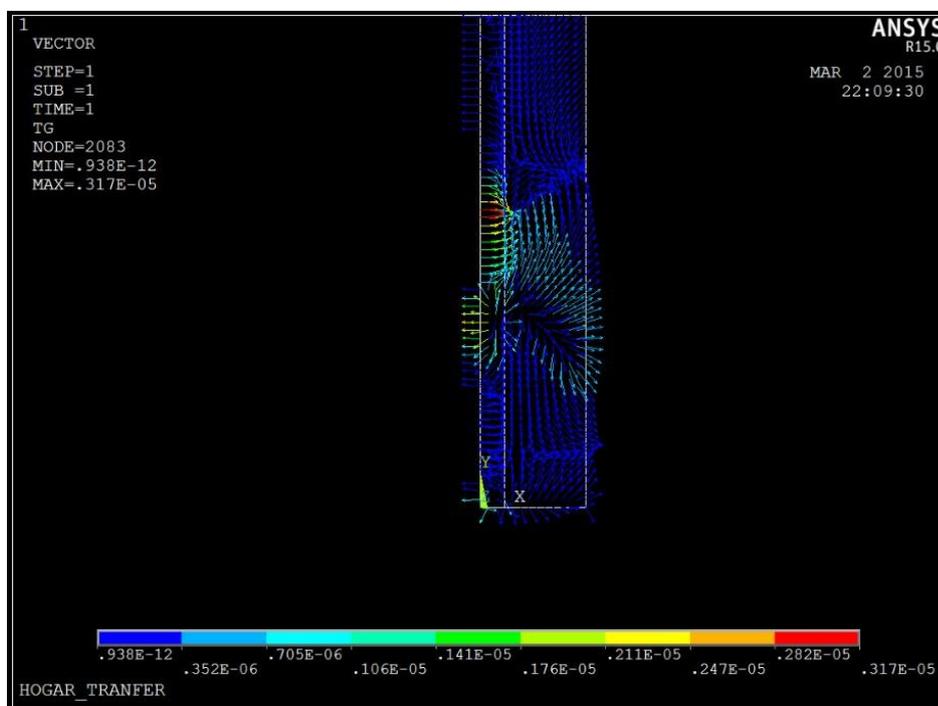


Figura 44. Transferencia de calor en la pared del hogar.

También es menester mostrar en la figura una sección de la pared en la que se puede observar con claridad el proceso de transferencia de calor en unidades de flujo de calor direccional en el eje x [$\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]. La visualización se escogió en modo vectorial para mejorar la apreciación.

2.1.17. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE.

Para efecto de soportar el hogar de combustión y sus accesorios es necesario el diseño de una estructura que sea idónea para esta aplicación, para lo cual se procedió a realizar un modelo CAD basado con fundamento de ingeniería estructural que se lo presenta en la **Figura 45**.

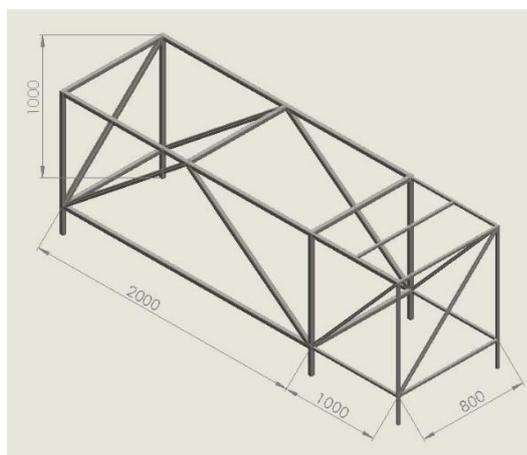


Figura 45. Estructura de soporte del hogar, chimenea, quemador y accesorios.

En la **Figura 45** se han expuesto las dimensiones principales de la estructura la cual cuenta con dos tipos de perfiles estructurales tubulares cuadrados el primero de 30 x 30 x 2 mm y el segundo de 20 x 20 x 2 mm de material ASTM A 36 los cuales han sido destinados a la generación de la resistencia necesaria para el soporte del peso del hogar, la chimenea, el quemador y accesorios. La lámina acotada de la estructura de soporte se la presenta en el **ANEXO J-5**.

Para efectuar la validación de la estructura de soporte del hogar de combustión, se procede a utilizar el software ANSYS, en su versión estudiantil, mediante la cual se ha establecido los parámetros necesarios para aprobar la geometría, perfiles y materiales de la estructura, tales parámetros son: deformación total, deformación direccional en el eje “y”, esfuerzo de Von Mises y el factor de seguridad resultados que se presentan a continuación en la **Figura 46, Figura 47, Figura 48, Figura 49**.

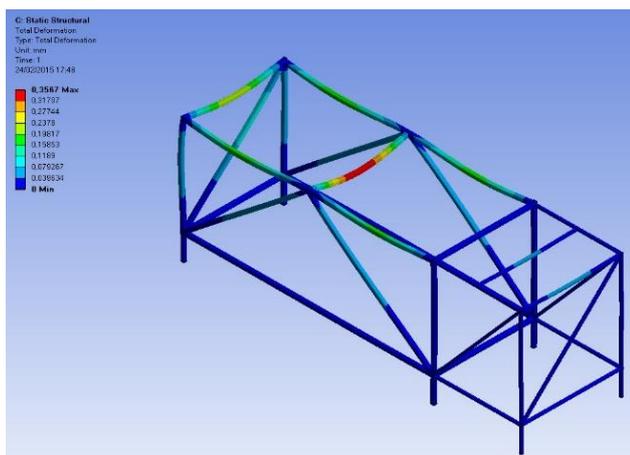


Figura 46. Resultado de la deformación total de la estructura.

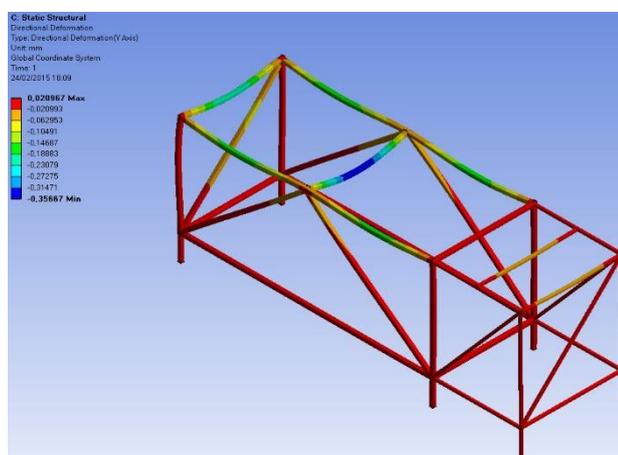


Figura 47. Resultado de la deformación direccional “y” de la estructura.

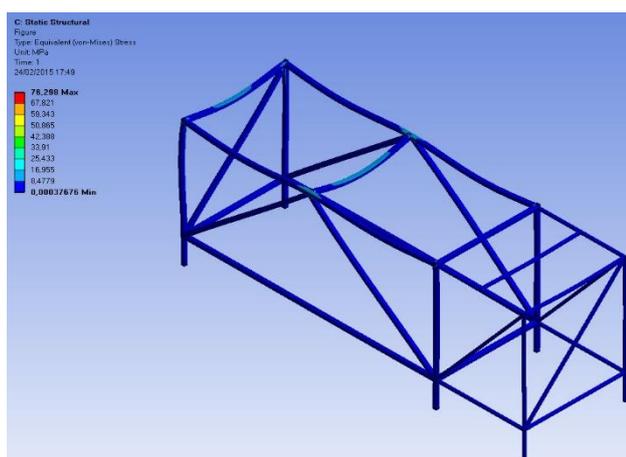


Figura 48. Resultado de la deformación direccional “y” de la estructura.

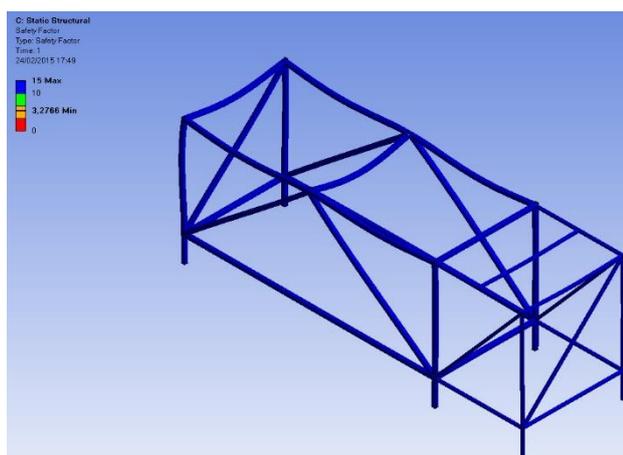


Figura 49. Resultado del factor de diseño estático de la estructura.

El análisis completo de la estructura de soporte realizado en ANSYS se lo muestra en el ANEXO L.

2.2. ACONDICIONAMIENTO DE LA ADMISIÓN DE AIRE

La admisión propia del quemador no permite variar el caudal de aire necesario para la combustión de forma automática, por lo que se diseñará un sistema de admisión para facilitar el control de forma automática, manteniendo el área inicial de entrada de aire.

La admisión de aire original del quemador Beckett de 0,4 a 3 gph se muestra en la **Figura 50**.

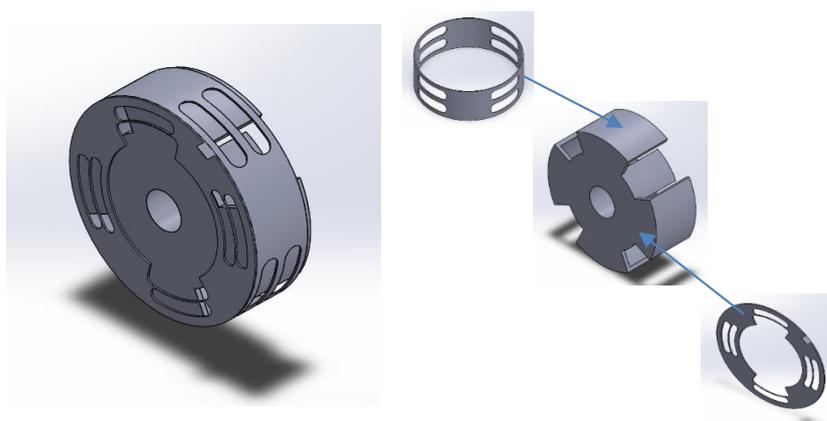


Figura 50. Admisión de aire propia del quemador.

La admisión de aire está conformada de dos piezas, una ubicada en la parte frontal de la guía circular con cuatro muelas y la segunda al contorno de ella, el

desplazamiento manual de las piezas que conforman el sistema de admisión de aire, permiten controlar el caudal de aire que ingresa al quemador para la combustión, así mismo se puede regular las emisiones de monóxido de carbono (CO).

En el presente proyecto se pretende realizar el control automático de admisión de aire para reducir las emisiones de CO, para lo cual es necesario tener el control general de admisión de aire, y, con el sistema de admisión de aire original del quemador no se lo puede realizar ya que son dos partes independientes.

Se realizará la sumatoria de las áreas de cada una de las hendijas que conforman el sistema de admisión de aire original, así se consigue tener el área total por donde ingresa el aire al quemador, lo que se pretende es centralizar esta área total en un solo lugar, para de esta manera tener el control de flujo total de aire que ingrese al quemador.

2.2.1. ADMISIÓN DE AIRE LATERAL.

En la **Figura 51** se muestra la admisión de aire lateral del quemador.



Figura 51. Admisión de aire lateral.

Para determinar el área de la admisión de aire lateral se necesita conocer el área de una de las ocho hendijas, mediante mediciones físicas se obtuvo las dimensiones que se muestran en la **Figura 52**.

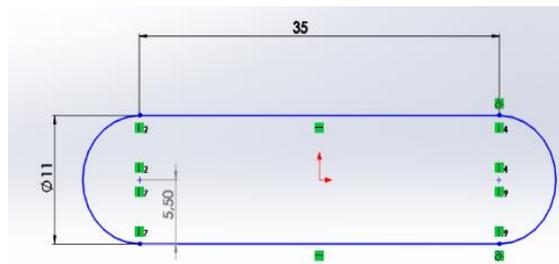


Figura 52. Dimensiones de una hendidura de la admisión de aire lateral.

Es preciso indicar que las dimensiones de la figura anterior son todas en milímetros, para facilitar el cálculo del área de la hendidura se procede a dividirla en un círculo y en un rectángulo como se indica en la **Figura 53**.

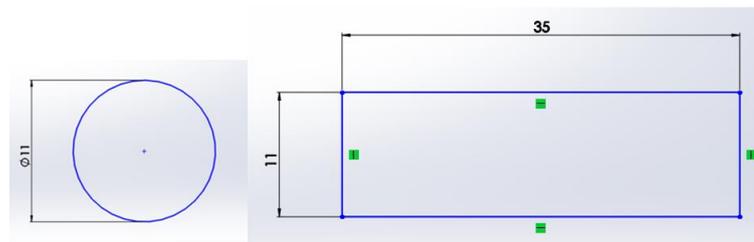


Figura 53. División de la hendidura.

Ahora se procede a calcular el área de cada una de las figuras geométricas para posteriormente sumarlas y obtener el área de una hendidura.

$$r = 5.5mm$$

$$A_{circular} = \pi r^2$$

$$A_{circular} = \pi(5.5mm)^2$$

$$A_{circular} = 78.53385mm^2$$

$$L_1 = 35mm ; L_2 = 11mm$$

$$A_{rectangular} = L_1 * L_2$$

$$A_{rectangular} = (35mm) * (11mm)$$

$$A_{rectangular} = 385mm^2$$

$$A_h = A_{circular} + A_{rectangular}$$

$$A_h = 78.53385mm^2 + 385385mm^2$$

$$A_h = 463.53mm^2$$

El área de la hendidura está representada como A_h . Para calcular el área total de la admisión de aire lateral (A_L) se debe multiplicar el área de la hendidura calculada con ocho ya que es el número de hendiduras totales en el área lateral.

$$A_L = A_{1el} * (\text{numero de endijas laterales})$$

$$A_L = 463.53\text{mm}^2 * (8) = 3708.24\text{mm}^2$$

2.2.2. ADMISIÓN DE AIRE FRONTAL.

En la **Figura 54** se muestra la admisión de aire frontal del quemador.



Figura 54. Admisión de aire frontal.

Para el cálculo del área de la admisión de aire frontal se compararán los perímetros respectivos de cada una de las hendiduras obteniendo como resultado que la suma de cada uno de estos da un círculo mayor y otro de menor medida como se presenta en la **Figura 55**.

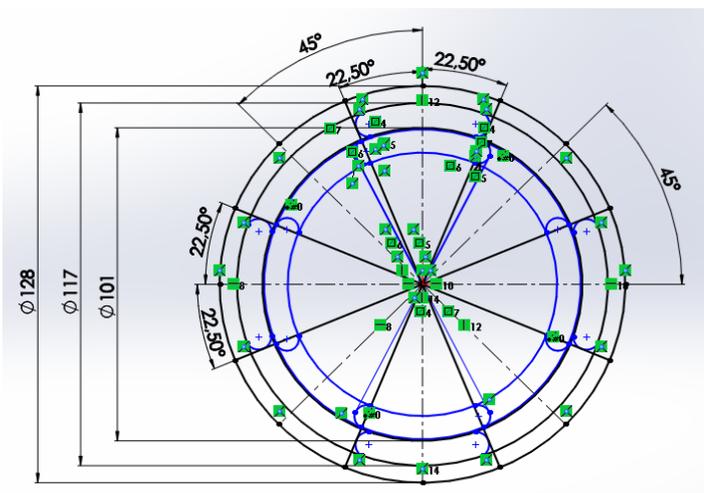


Figura 55. Dimensiones para el cálculo del área frontal.

Es puntual indicar que las dimensiones de la figura anterior son todas en milímetros.

$$A_{\text{circular}} = \pi r^2$$

$$r_1 = 5.85\text{cm} ; D_1 = 11.7\text{cm} \quad r_2 = 5.05\text{cm} ; D_2 = 10.1\text{cm}$$

$$A_1 = \pi r_1^2 \quad A_2 = \pi r_2^2$$

$$A_1 = \pi(5.85\text{cm})^2 \quad A_2 = \pi(5.05\text{cm})^2$$

$$A_1 = 107.51\text{cm}^2 \quad A_2 = 80\text{cm}^2$$

Para calcular el área total de la admisión de aire frontal (A_F) se debe realizar una diferencia entre el A_1 y A_2 ya calculadas.

$$A_F = A_1 - A_2$$

$$A_F = 107.51\text{cm}^2 - 80\text{cm}^2$$

$$A_F = 27.51\text{cm}^2$$

$$27.51\text{cm}^2 * \frac{(10\text{mm})^2}{1\text{cm}^2} = 2751\text{mm}^2$$

2.2.3. ADMISIÓN DE AIRE TOTAL.

Ya obtenidas independientemente área total de la admisión de aire frontal (A_F) y el área total de la admisión de aire lateral (A_L), queda realizar una sumatoria entre estas y así obtener el área total resultante del sistema (A_T).

$$A_T = A_L + A_F$$

$$A_T = 3708\text{mm}^2 + 2751\text{mm}^2$$

$$A_T = 6459.24\text{mm}^2$$

A partir del cálculo del área total de admisión es posible llegar a determinar una sección de lados iguales que permitirá controlar el flujo del aire de entrada al quemador para la combustión, esta sección representará las áreas existentes en el sistema de admisión de aire original.

$$A_{cuadrada} = A_T$$

$$A_{cuadrada} = L_1 \times L_2$$

$$L_1 = L_2$$

$$L_1 \times L_2 = 6459.24mm^2$$

$$L_1^2 = 6459.24mm^2$$

$$\sqrt{L_1^2} = \sqrt{6459.24mm^2}$$

$$L_1 = 80.369mm$$

En la **Figura 56** se muestra la sección de área cuadrada equivalente al área total de admisión de aire original.

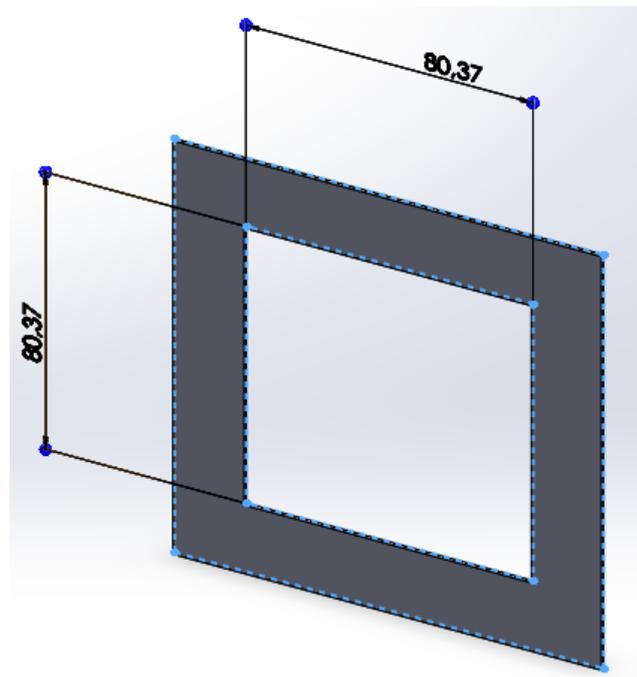


Figura 56. Sección cuadrada equivalente al área de admisión de aire original del quemador.

2.2.4. NUEVO SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE.

El nuevo sistema de admisión de aire tendrá la capacidad de ajustarse automáticamente hasta que el quemador se regule a las mínimas emisiones de monóxido de carbono permitidas, para este control es viable emplear un servomotor que abra una compuerta la que se regulara el paso del flujo de aire utilizado en la combustión, este tipo de actuadores presentan la capacidad de control en 180 grados, considerando lo mencionado es posible distribuirlos a medida de una de las secciones calculadas en la tabla anterior L_1 , el mecanismo piñón cremallera permite la transformación de movimiento circular a lineal necesario para lograr el control de la compuerta con el servomotor, usando como dato inicial el L_1 , se lo relaciona con un perímetro obteniendo los resultados que muestra la tabla a continuación.

En la **Tabla 24** se presentan los datos, la fórmula y el cálculo realizado para determinar el radio del engrane.

Tabla 212.
Cálculo para el radio del engrane.

CALCULO PARA LA DETERMINACION DEL RADIO DEL ENGRANE @ 180°

Dato: Perimetro = 8 cm

Formula: Perimetro = 2 * π * r

Cálculo:

$$r_{@360^\circ} = \frac{\text{Perimetro}}{2 * \pi}$$

$$r_{@360^\circ} = \frac{80.369\text{mm}}{2 * \pi}$$

$$r_{@360^\circ} = 12.79\text{mm}$$

$$r_{@180^\circ} = r_{@360^\circ} * 2$$

$$r_{@180^\circ} = 12.79\text{mm} * 2$$

$$r_{@180^\circ} = 25.5\text{mm} \quad ; \quad D_{@180^\circ} = 51\text{mm}$$

De esta manera como se indica en la **Figura 57** se está asegurando que con un radio de $r_{@180^\circ} = 25.5\text{mm}$ forma una circunferencia cuyo perímetro en 180 grados representa los 80.369mm correspondientes al lado L_1 , estos datos servirán para el cálculo del piñón (diámetro primitivo) y la cremallera (longitud) respectivamente.

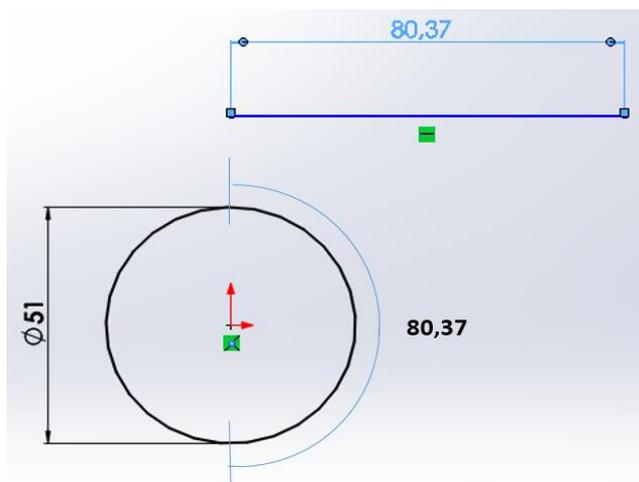


Figura 57. Radio del engrane.

Para el diseño del engrane se debe tomar en cuenta los parámetros especificados en la **Tabla 2.15**. Para distinguir cada parámetro se presenta la **Figura 58**.

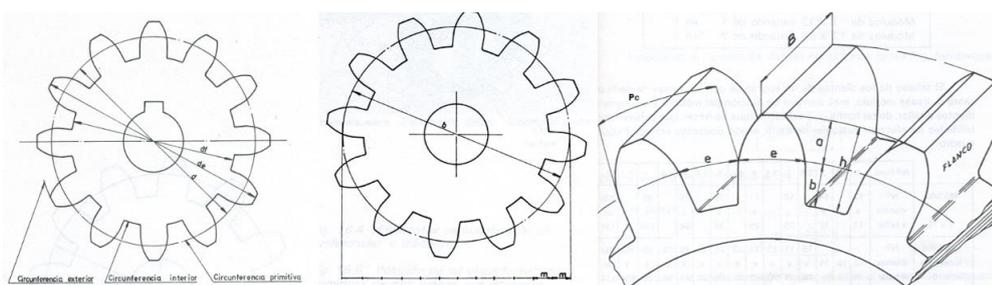


Figura 58. Parámetros para el diseño del engrane.

Tabla 2.13.
Parámetros de diseño del engrane.

Diámetro primitivo $dp = r_{@180^\circ} * 2$

- Diámetro correspondiente a la circunferencia primitiva

$$dp = 25.5mm * 2 = 51mm$$

Modulo m

- Es la cantidad de diámetro primitivo que corresponde a cada diente del engrane

$$m = 1$$

Numero de dientes $z = \frac{dp}{m}$

- Numero de dientes del engrane

$$z = \frac{51mm}{1} = z = 51 \text{ dientes}$$

Diámetro exterior $de = m(z + 2)$

- Diámetro correspondiente a la circunferencia exterior

$$de = 1(51 + 2) = 53mm$$

Diámetro interior $df = m(z - 2.5)$

- Diámetro correspondiente a la circunferencia interior

$$df = 1(51 - 2.5) = 48.5mm$$

Altura de diente $h = 2.25 * m$

- Altura total del diente

$$h = 2.25 * 1 = 2.25mm$$

Paso circular $Pc = \pi * m$

- Longitud del arco de circunferencia primitiva comprendida entre dos puntos homólogos de dos dientes consecutivos

$$Pc = \pi * 1 = 3.1415$$

Longitud del diente $\beta = 10 * m$

- Representa el espesor del diente, es decir el ancho que tendrá

$$\beta = 10 * 1 = 10$$

Con ayuda del software SOLID WORKS se puede obtener una simulación del engrane con la cremallera como se indica en la **Figura 59**, simplemente insertando datos específicos que el programa solicita, estos datos son los mostrados en la tabla anterior.

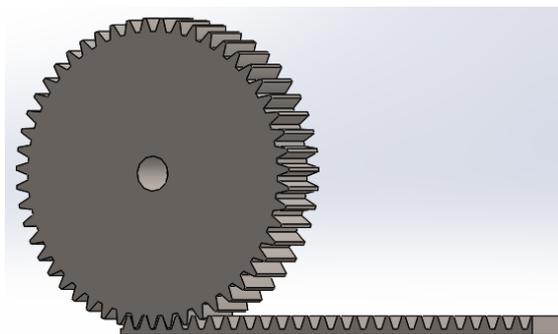


Figura 59. Engrane y cremallera.

El sistema engrane cremallera con la ayuda de un servomotor deberá mover la compuerta que permita o no la entrada de aire, el nuevo sistema de admisión de aire deberá ser como el mostrado en la **Figura 60**.

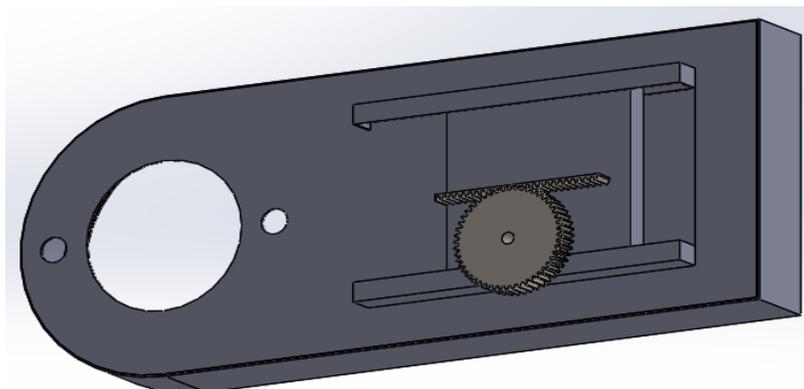


Figura 60. Nuevo sistema de admisión de aire.

2.3. DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO DE LA ADMISIÓN DE AIRE

Se necesita reducir las emisiones de monóxido de carbono (CO) producidas por el quemador al combustionar diésel. Para lo cual se precisa implementar un control, que por medio de un sensor de gas, un controlador y un actuador permitan variar el caudal de aire que ingresa al quemador, con esto se logrará disminuir dichas emisiones.

Para realizar el control automático de la admisión de aire en el quemador lo adecuado es utilizar un control por corrección de medida que a su vez es un control en lazo cerrado.

Partiendo de esto se seleccionarán los elementos y equipos necesarios para realizar el control automático de la admisión del aire en el quemador.

2.3.1. SELECCIÓN DEL SENSOR

La variable a medir y posteriormente a corregir es la concentración de CO en el aire, para medir dicha variable se eligió el sensor MQ-7 (**Figura 14**) por su alta sensibilidad al CO, porque su bajo costo, por la disponibilidad en el mercado ecuatoriano y otras importantes características especificadas en el **ANEXO C**.

La señal proporcionada por el módulo GAS SENSOR V1.3 (**Figura 16**) no es diferente a la del sensor solo, éste módulo sirve nada más para variar la salida digital del sensor. La señal análoga del sensor es de 0 a 5 v, el rango de medida es de 20 ppm a 2000 ppm, pero se debe tener en cuenta que la salida análoga no es lineal, en la Universidad de BRAC en Dhaka, Estados Unidos se realizó un estudio del sensor de monóxido de carbono MQ-7 por Jahan Ara Ferdousi, Samiul Ehsan Ananto y Md Naveed Ahmed en Agosto de 2014, en el mencionado estudio se llega a que el valor de las ppm se lo puede calcular con la siguiente formula:

$$\text{Valor en ppm} = \frac{95,501}{\left[\frac{V_c - V_{out}}{V_{out}}\right]^{1,543}},$$

Dónde:

V_c es el voltaje de alimentación del sensor (5 v).

V_{out} es el voltaje que da la salida análoga de (0 a 5 v)

2.3.2. SELECCIÓN DEL ACTUADOR

Los gases o concentración de gases producidos por la ignición de diésel depende de la concentración de O_2 en la mezcla aire-combustible como se muestra en la **Figura 7**. Por lo que si se varía el caudal de aire que ingresa al quemador también variará la concentración de gases de combustión en el aire.

El rediseño de la admisión de aire en el quemador consta básicamente de un piñón y una cremallera, es necesario girar el piñón, para esto se escogió un servomotor ya que este tipo de motores son los más adecuados para control de posición, por lo se eligió el servo MS-311 que posee el torque suficiente para realizar el trabajo requerido, en el **ANEXO D** se presentan las características técnicas del citado servomotor.

2.3.3. SELECCIÓN DEL PLC

Para lograr el control automático de la admisión de aire del quemador es preciso tener un PLC que reciba la señal dada por el módulo GAS SENSOR V1.3, y que me

permita generar un PWM en la salidas para controlar el giro del servo MS-311, también es importante que el PLC seleccionado tenga la posibilidad de realizar un PID y un HMI.

Teniendo en cuenta todos los parámetros antes mencionados el PLC elegido es el SIMATIC S7-1200 con CPU: 1214 DC/DC/DC, al que se energiza a 24 v de corriente continua y cuenta con muchas importantes características entre las cuales están: entradas análogas, capacidad de realizar un PID y un HMI, salidas transistorizadas que son las requeridas para poder entregar la señal PWM al servo MS- 11. En el **ANEXO E** se muestran todas las características del PLC SIMATIC S7- 200 con CPU: 1214 DC/DC/DC.

2.3.4. SELECCIÓN DE LA PANTALLA TOUCH

La función principal de la pantalla touch es mostrar la concentración de CO en el aire y también desde esta se quiere controlar la admisión de aire en el quemador designando funciones a algunas de la teclas de la pantalla, tomando en cuenta que el PLC es de la gama SIMATIC por lo que se selecciona la pantalla SIMATIC HMI KTP400 Basic mono PN. Siendo el PLC y la pantalla touch de la misma gama SIMATIC se evitará problemas de comunicación entre los equipos. Las características y especificaciones de la mencionada pantalla se presentan en el **ANEXO F**.

2.3.5. DIAGRAMA GENERAL DE CONEXIÓN DE LOS ELEMENTOS

En la **Figura 61** se indican las conexiones necesarias para poder realizar el control automático de la admisión de aire del quemador.

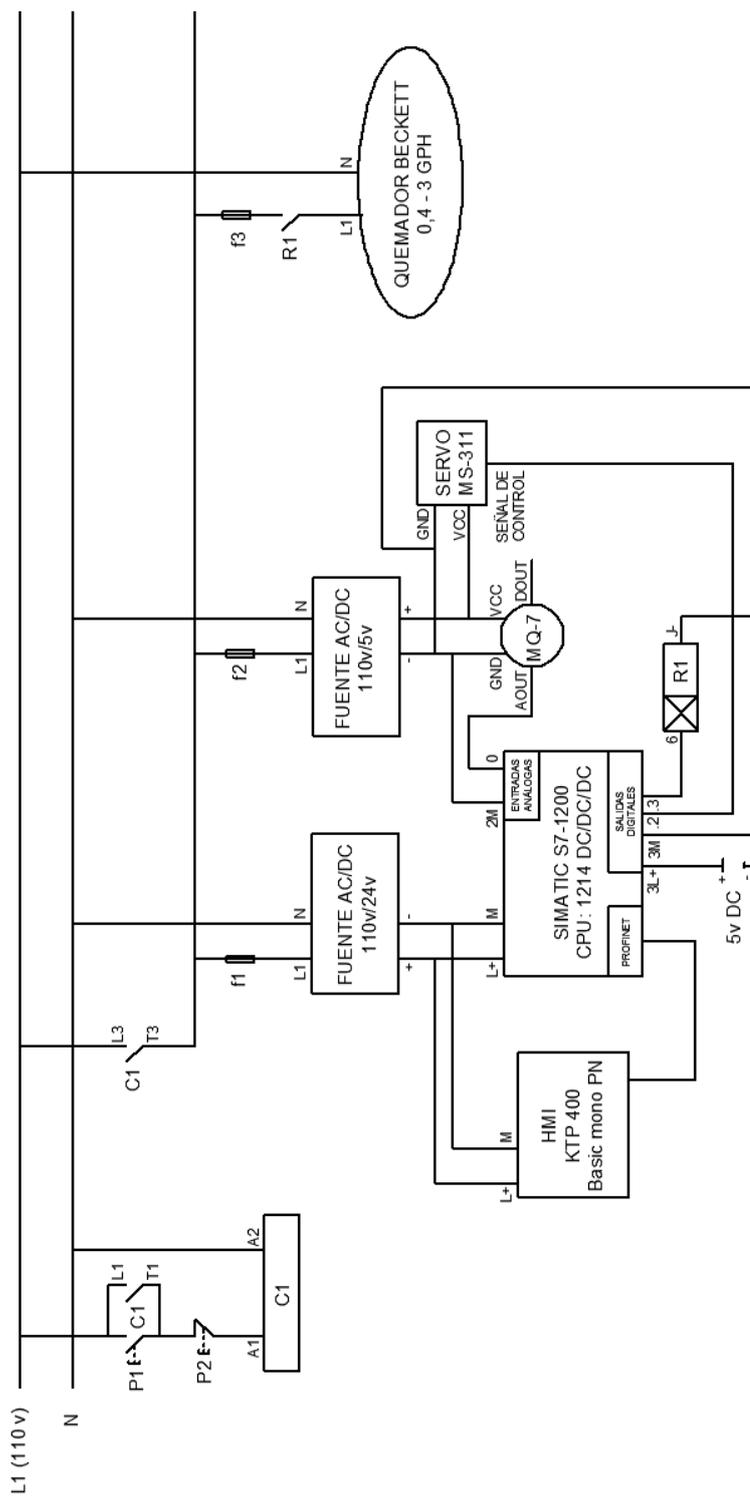


Figura 61. Conexión general de los equipos.

2.4. PROGRAMACIÓN Y COMUNICACIÓN DEL PLC

2.4.1. DIAGRAMA DE FLUJO

La **Figura 62** muestra de manera clara y concisa el flujograma del funcionamiento y las tareas que se ejecutan para que se llegue a obtener el control de admisión de aire del quemador y así también disminuir las emisiones de CO.

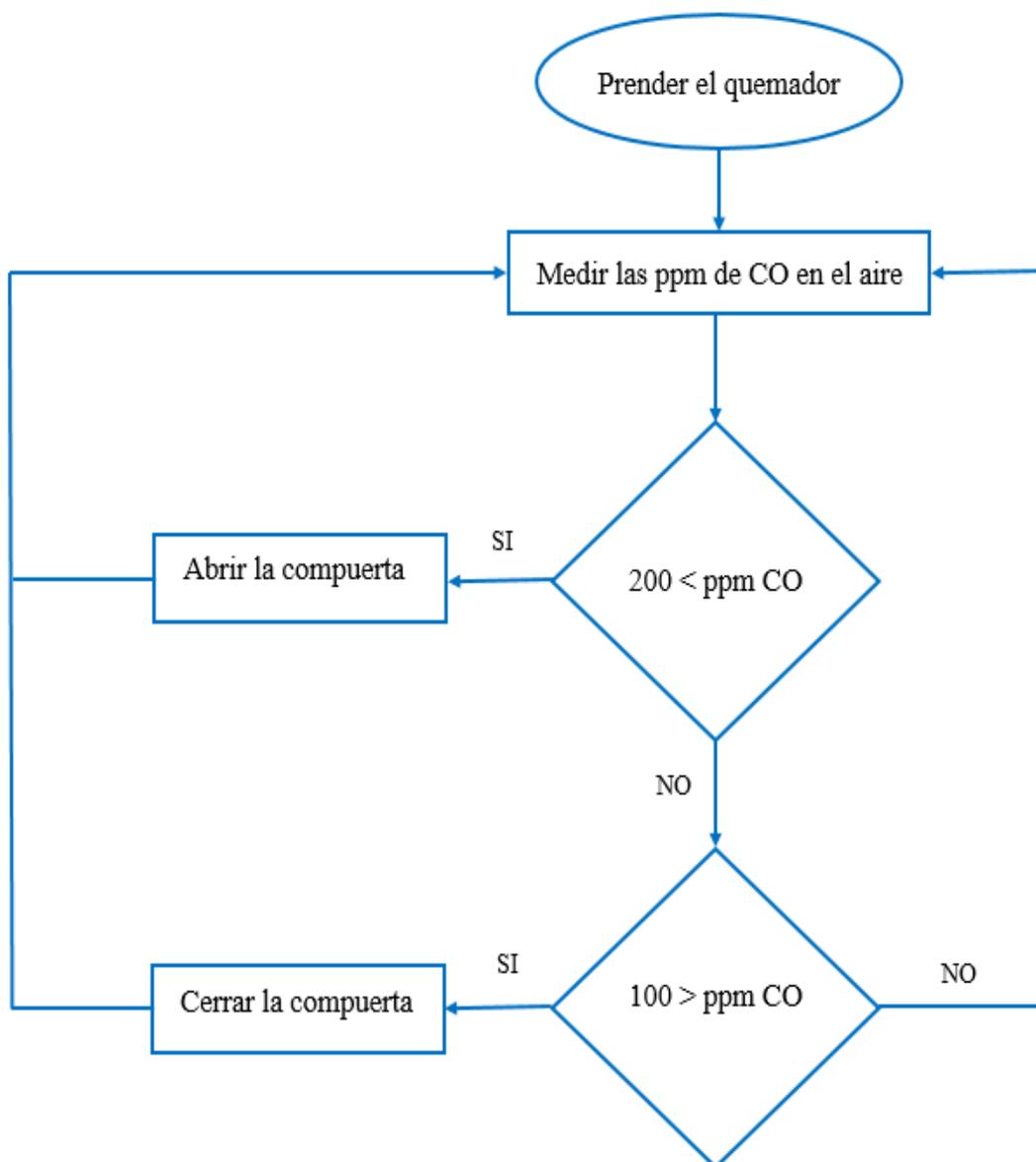


Figura 62. Flujograma para realizar el control automático de la admisión de aire del quemador para reducir las emisiones de CO.

2.4.2. PROGRAMACIÓN Y COMUNICACIÓN

Al tener terminado el prototipo se procede a realizar la programación del PLC. La programación del PLC SIEMENS S7-1200 se realiza en el software TIA PORTAL (**Figura 63**), el Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) es un software de que permite realizar e implantar soluciones de automatización en cualquier campo industrial.

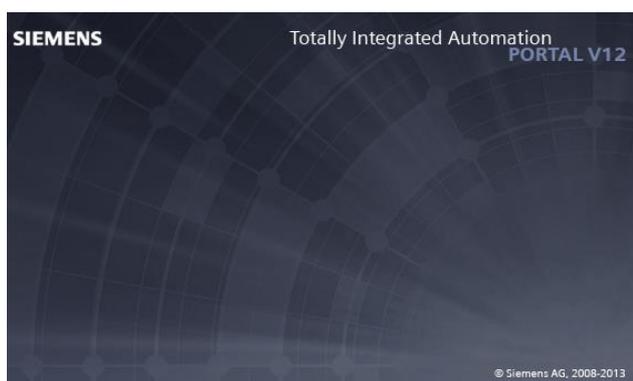


Figura 63. TIA PORTAL.

El STEP 7 es un software de programación que brinda un medio cómodo que permite desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación que se tenga, incluyendo herramientas para gestionar y configurar los dispositivos del proyecto, como PLC's y dispositivos HMI.

STEP 7 facilita varios lenguajes de programación que permiten desarrollar de forma eficiente el programa de control.

- KOP (esquema de contactos) es un lenguaje de programación gráfico. Su representación se basa en esquemas de circuitos.
- FUP (diagrama de funciones) es un lenguaje de programación que se basa en los símbolos lógicos gráficos empleados en el álgebra booleana.
- SCL (structured control language) es un lenguaje de programación de alto nivel basado en texto.

A continuación se presentan brevemente los pasos para realizar la programación lógica del controlador.

1. Instalar el software TIA Portal V12, versión adquirida.
2. Ejecutar la aplicación como se indica en la **Figura 64**.

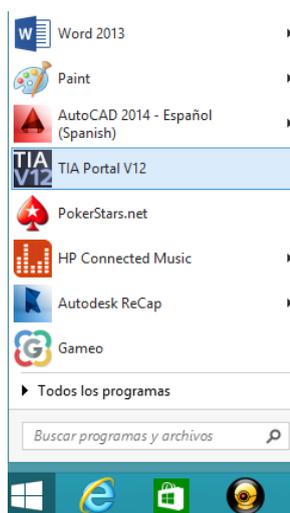


Figura 64. Ejecutar TIA.

Se abre la ventana principal del portal donde se encuentran las opciones de “Abrir proyecto existente”, el cual desplaza los proyectos realizados en el software, la opción “Crear proyecto” en el que se va a crear un nuevo proyecto como se muestra en la **Figura 65**.

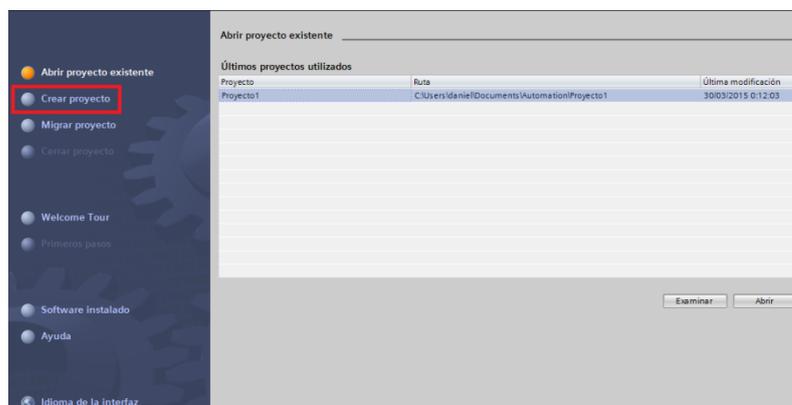


Figura 65. Crear nuevo proyecto.

3. En crear proyecto se necesita asignar el nombre, la ubicación donde se guardará, el autor y si se quiere un comentario, luego hacer clic en “Crear” como se muestra en la **Figura 66**.

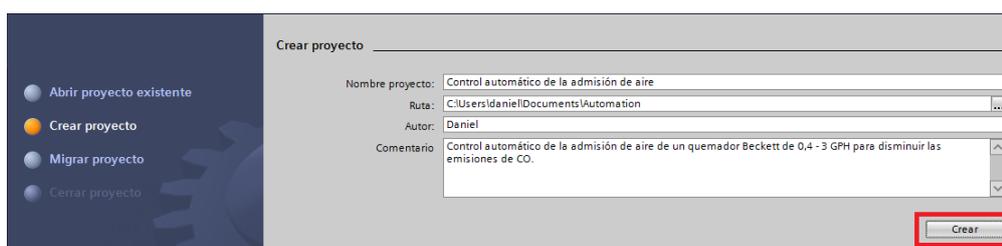


Figura 66. Etiquetas del nuevo proyecto.

4. Aparecerá la ventana “Primeros pasos” que indica la **Figura 67**, aquí se tiene las opciones: Configurar un dispositivo, Escribir programa PLC, Configurar objetos tecnológicos, Configurar una imagen HMI y Abrir la vista del proyecto. Se inicia por lo primordial que es configurando el hardware del equipo para lo que se debe seleccionar “Configurar un dispositivo”.

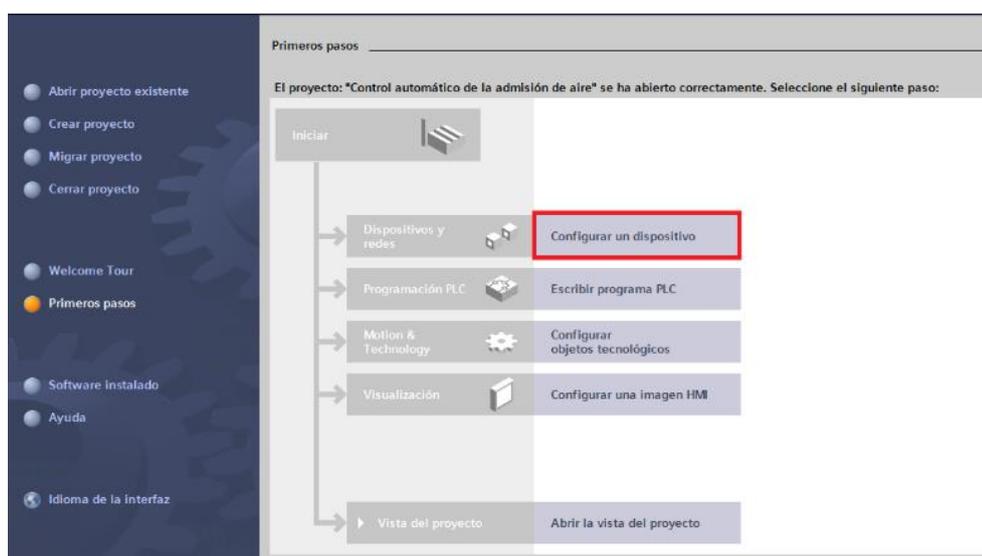


Figura 67. Configurar dispositivo.

5. Como no se tiene ningún dispositivo primero selecciona “Agregar dispositivo”, aparecerán tres opciones: Controladores, HMI y Sistemas PC. Dar clic al botón de “Controladores” y se desplegará una ventana donde debe seleccionar la CPU adquirida, agregarla presionando el botón “Agregar” como se muestra en la **Figura 68**.

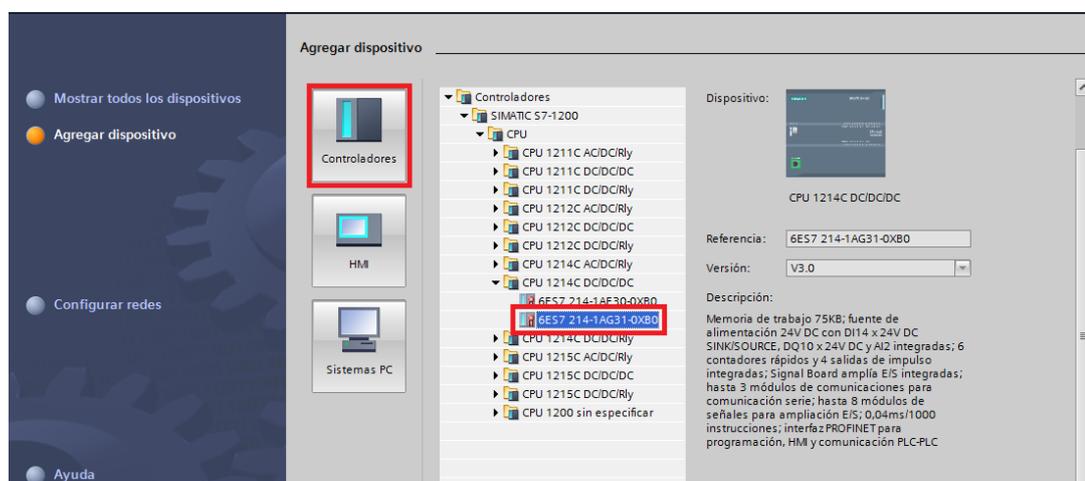


Figura 68. Selección del controlador.

En la **Figura 69** se indica el dispositivo agregado.

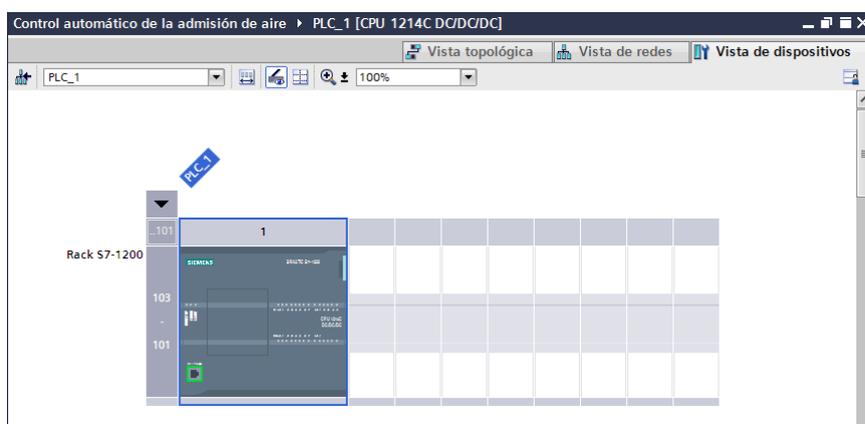


Figura 69. PLC agregado.

6. Para agregar la pantalla HMI dar clic al botón de “HMI” y se desplegará una ventana donde debe seleccionar la pantalla adquirida, agregarla presionando el botón “Aceptar” como se muestra en la **Figura 70**.

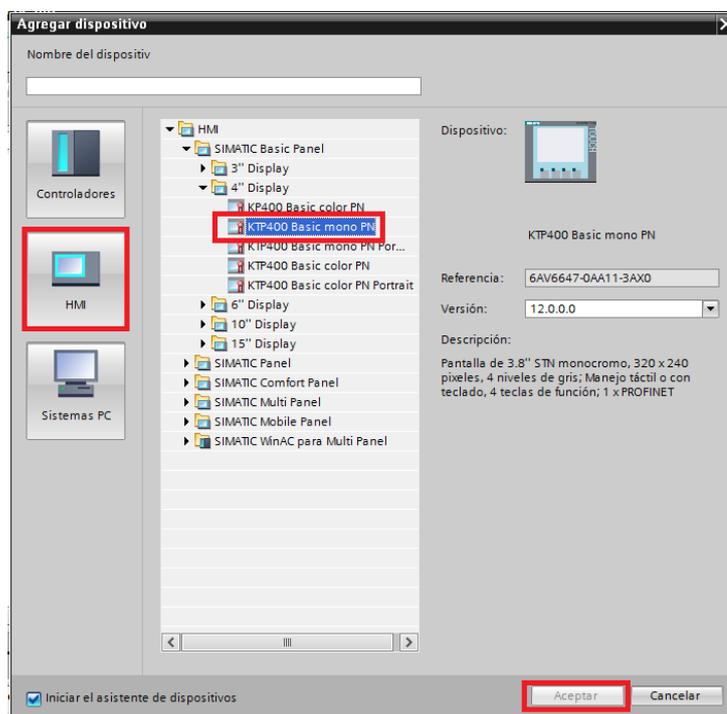


Figura 70. Selección de la pantalla HMI.

En la **Figura 71** se indica el dispositivo agregado.

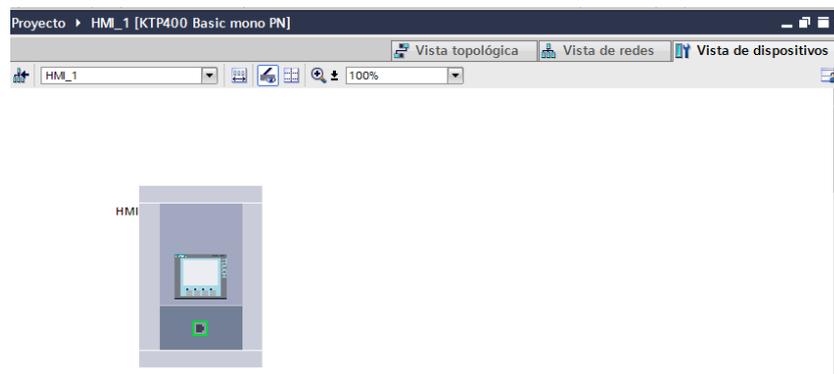


Figura 71. Pantalla HMI agregada.

7. Para evitar conflictos de comunicación se debe declarar la dirección IP de la PC, del PLC y también de la pantalla HMI. Para transferir la configuración se debe seleccionar la CPU para habilitar el icono que es para transferir los datos.

Inicialmente configurar la IP del PC, ingresar la 192.168.0.241 u otra diferente mientras se encuentre dentro del rango de la clase de IP (clase C) como se muestra en la **Figura 72**, además que no coincida con la dirección IP del PLC y tampoco con la de la pantalla HMI.

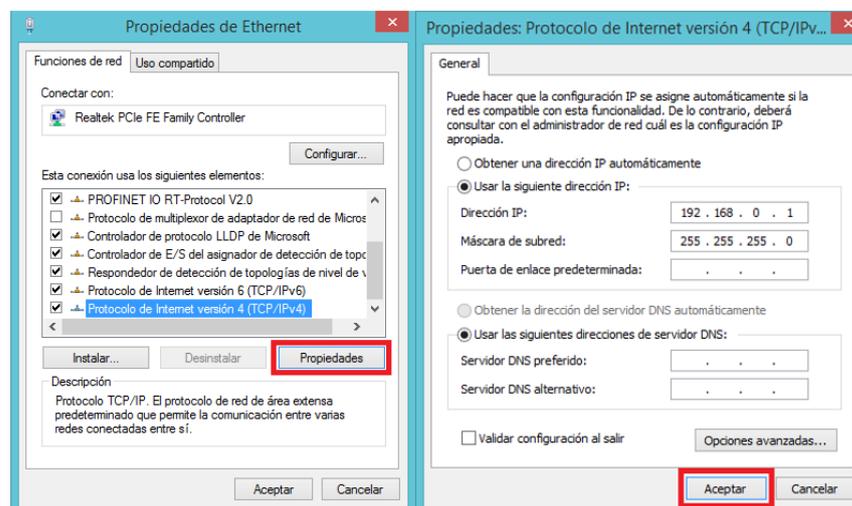


Figura 72. Designación de dirección IP a la PC.

8. Para poner la dirección IP en el PLC, dar clic sobre la CPU y en la ventana de propiedades en la parte inferior dentro de la opción interfaz PROFINET. Ahí es donde se asigna la IP y la máscara de subred que se requiera para el enlace del PLC como se muestra en la **Figura 73**.

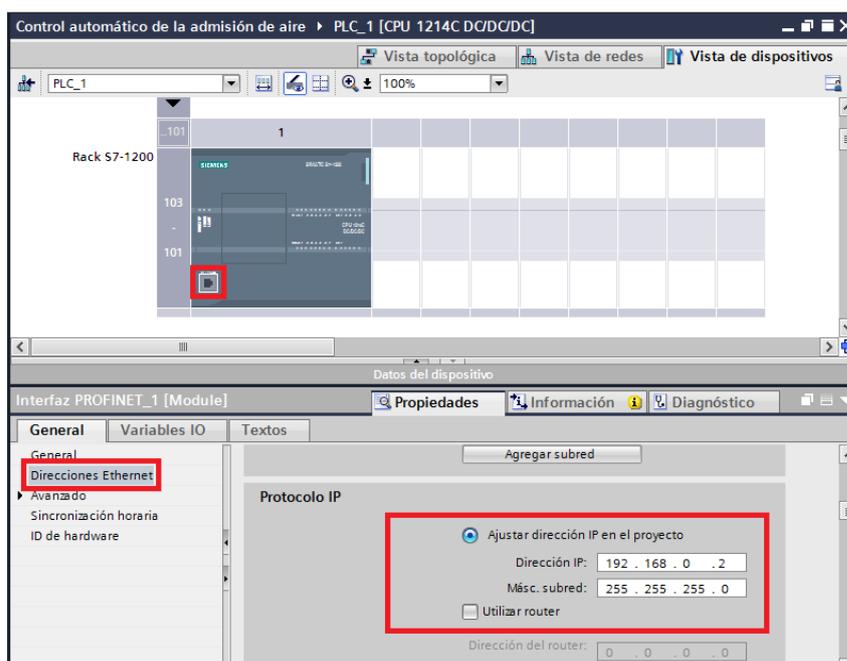


Figura 73. Designación de dirección IP al PLC.

9. Para direccionar el IP de la pantalla HMI se realizará lo indicado en el **ANEXO F-19**, para la comprobación de la comunicación de los tres equipos se ubica en la pestaña “Online” como se muestra en la **Figura 74**.

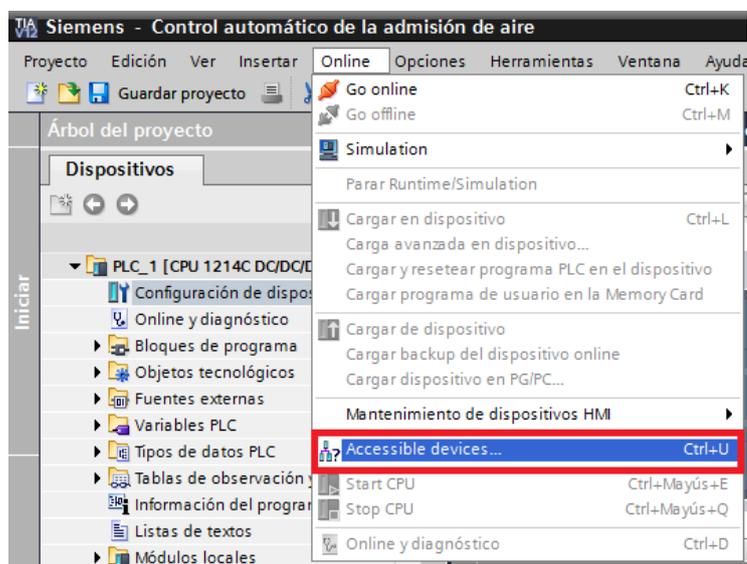


Figura 74. Comunicación entre PC, PLC y pantalla HMI.

En la **Figura 75** se muestra la óptima comunicación entre la PC, el PLC y la pantalla HMI, para verificar dicha comunicación podemos hacer clic en “Parpadear LED”.

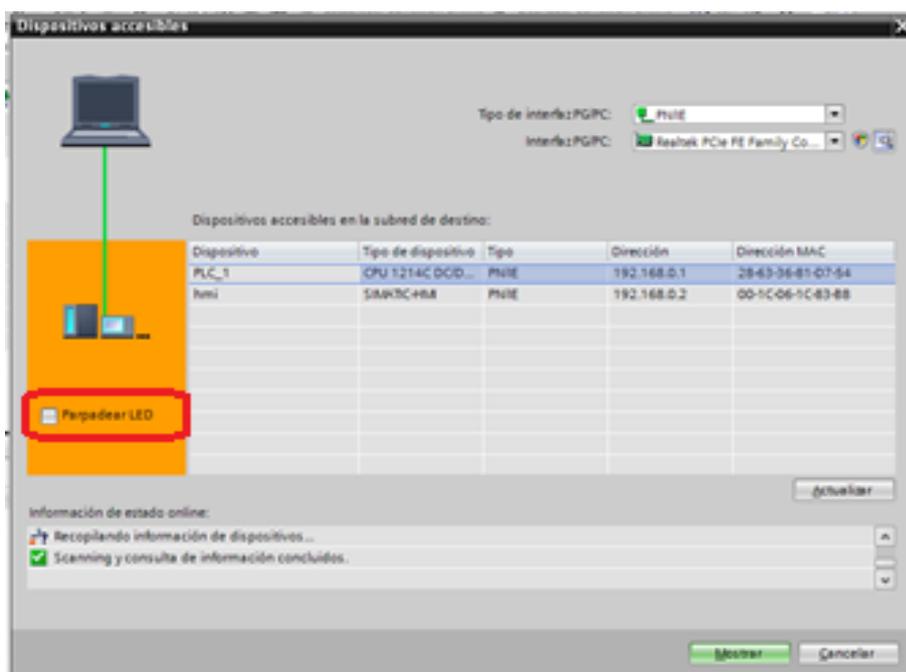


Figura 75. Verificación de comunicación.

10. Ahora que la comunicación es exitosa se puede empezar con la programación dando clic en “Main” como se muestra en la **Figura 76**.

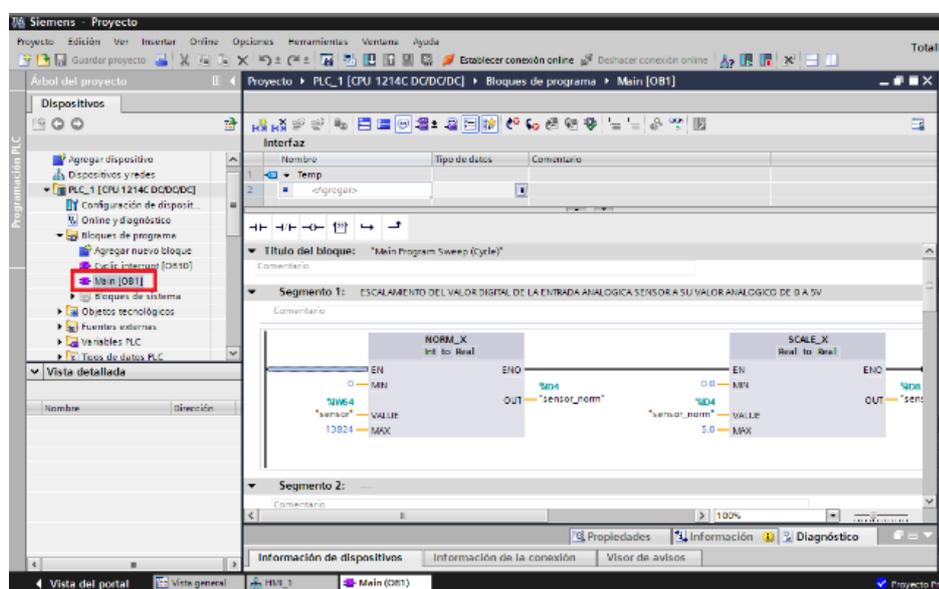


Figura 76. Bloques de programación.

11. Podemos continuar diseñando y programando la pantalla HIM como se muestra en la **Figura 77**, **Figura 78** y **Figura 79**.



Figura 77. Pantalla Presentación.

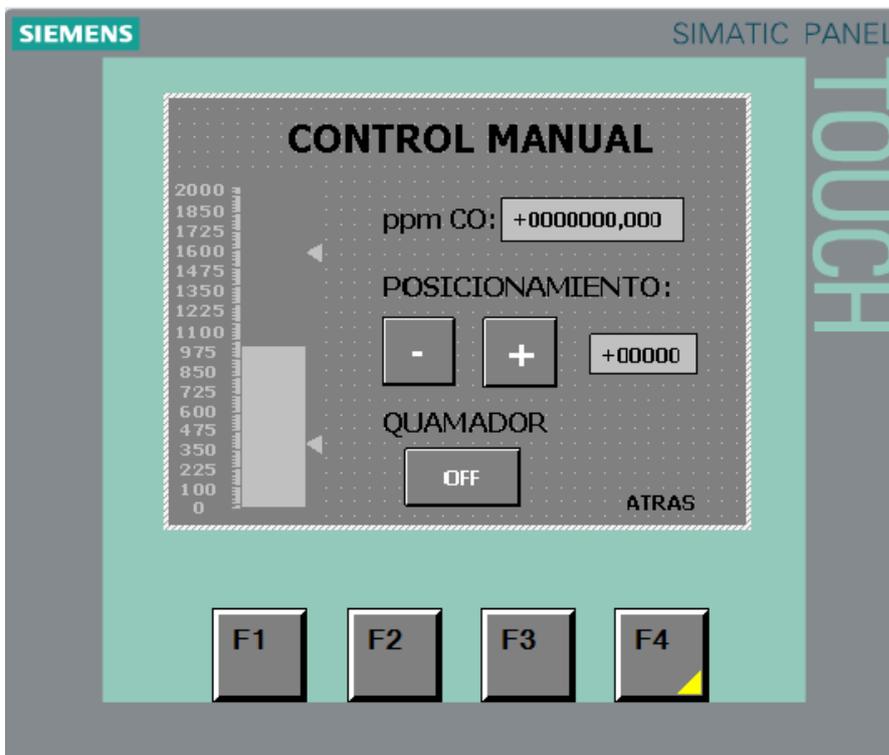


Figura 78. Pantalla Control Manual.

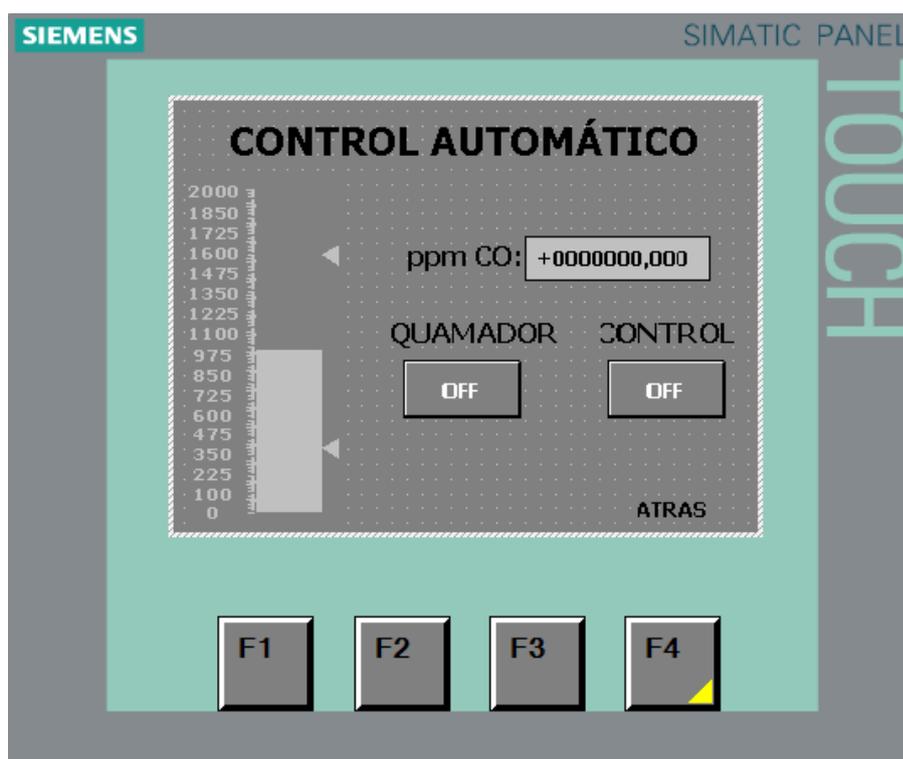


Figura 79. Pantalla Control Automático.

En el ANEXO M se presenta toda la programación realizada para cumplir con el control automático de la admisión de aire del quemador, para disminuir las emisiones de CO gracias a un PID y HMI.

CAPÍTULO III

3. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

3.1. CONSTRUCCIÓN DEL HOGAR Y LA CHIMENEA

En el capítulo anterior se realizó el diseño del hogar y la chimenea, que consta de la selección del material y sus dimensiones, en este capítulo se procederá a la construcción e implementación hogar y la chimenea. Los cuales deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

- Almacenar y direccionar los gases productos de la combustión que realiza el quemador, para así poder medir la concentración de monóxido de carbono (CO) a la salida de la chimenea.
- Disminuir la temperatura de los gases producidos por la combustión que realiza el quemador, ya que el sensor tiene un rango de temperatura para su correcto funcionamiento.

En la **Figura 80** se muestra el hogar y en la **Figura 81** se indican los segmentos ensamblados de la chimenea.



Figura 80. Hogar de combustión.



Figura 81. Chimenea.

3.2. CONSTRUCCIÓN DE LA NUEVA ADMISIÓN DE AIRE

El rediseño de la admisión de aire se construirá con materiales livianos en especial la compuerta que permitirá la entrada del flujo de aire, el servomotor con la ayuda de un sistema de engrane y cremallera deberá ser capaz de mover dicha compuerta para tener un control del caudal de aire para la combustión, y así disminuir la concentración de monóxido de carbono en el aire.

En la **Figura 82** se muestra la nueva admisión de aire construida e implementada en el quemador.



Figura 82. Nueva admisión de aire.

3.3. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA BASE

El requerimiento de la estructura base debe soportar el peso del hogar y la chimenea así también de los demás equipos, la estructura se construye con el material y las dimensiones establecidas en el diseño ya que los resultados dados por el software ANSYS confirman que la estructura cumple con el requerimiento establecido.

En la **Figura 83** se muestra la estructura base ya construida.



Figura 83. Estructura Base.

3.4. CONEXIÓN DE LOS EQUIPOS

Se realiza las conexiones como se muestran en la **Figura 61**. La conexión se la realizó con cable número 16 AWG ya que es suficiente para la potencia y corriente de los equipos. La **Figura 84** indica las conexiones realizadas en el tablero de control con todos los equipos necesarios para que el control funcione como se quiere.



Figura 84. Caja de control.

3.5. IMPLANTACIÓN DEL PROTOTIPO

Primero se realiza el montaje del hogar y el quemador con su nueva admisión de aire en la estructura base, luego consecutivamente se ensambla cada segmento de la chimenea, así queda listo para proceder con la implementación de los equipos de control.

El sensor se ubica en la parte superior de la chimenea, el PLC, las fuentes de alimentación, la pantalla touch, el contactor, el relé, las luces piloto y los pulsadores quedan en la caja de control, el servomotor se acopla a la nueva admisión de aire del quemador.

La **Figura 85** muestra el prototipo acabado.



Figura 85. Prototipo terminado.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. PRUEBA DEL HOGAR Y LA CHIMENEA

Se realizaron las pruebas del hogar y la chimenea, la condición de almacenar y direccionar los gases de combustión cumple perfectamente, por otra parte la condición de disminuir la temperatura de los gases producidos por la combustión no fue la que se esperaba.

En la **Figura 86** se indica la medición de temperatura realizada en el hogar con una termocupla de tipo K, la temperatura en el hogar de combustión aproximadamente es de 300 °C.



Figura 86. Medición de la temperatura en el hogar.

Calculando un promedio de las mediciones de temperatura realizadas al final de la chimenea tener los 100 °C, en la **Figura 87** se muestra como se tomó la medición de temperatura con la misma termocupla de tipo K.



Figura 87. Medición de la temperatura al final de la chimenea.

La diferencia de la temperatura del hogar con la temperatura al final de la chimenea representa pérdida de calor o temperatura de punto a punto que existe gracias a la sección, altura y material de la chimenea, esta pérdida es de 200 °C.

La temperatura deseada al final de la chimenea es de menos de 50 °C, pero como anteriormente se dijo la temperatura real al final de la chimenea es de aproximadamente 100 °C, por lo que se realizó un intercambiador de calor con dos pequeños radiadores (**Figura 88**), el fluido refrigerante es el agua, para subir y recircular el fluido se implementó un sistema con una bomba y conductos como se muestra en la **Figura 89**.



Figura 88. Intercambiador de calor.



Figura 89. Implementación del sistema de enfriamiento de gases de combustión.

Al tomar las mediciones de temperatura de los gases de combustión al final del intercambiador de calor tenemos la temperatura deseada que está entre los 35 y 45 °C.

4.2. PRUEBA DE LA NUEVA ADMISIÓN DE AIRE CON EL SERVO

Al prender el quemador y manipular la compuerta de la nueva admisión de aire se comprobó que cumple la misma función que la admisión original, y esto se lo afirma al observar la forma de la llama al cerrar o abrir la compuerta, también se puede identificar que al cerrar la compuerta los gases son de color oscuro y al dejar que ingrese más flujo de aire o abrir la compuerta los gases de combustión son cada vez más claros.

En la **Figura 90** se presenta los parámetros necesarios en la programación del TIA Portal V12 para el correcto movimiento del servo. La salida digital utilizada es la Q0.2 ya que tiene la opción de generar un PWM necesario para el movimiento del servo.

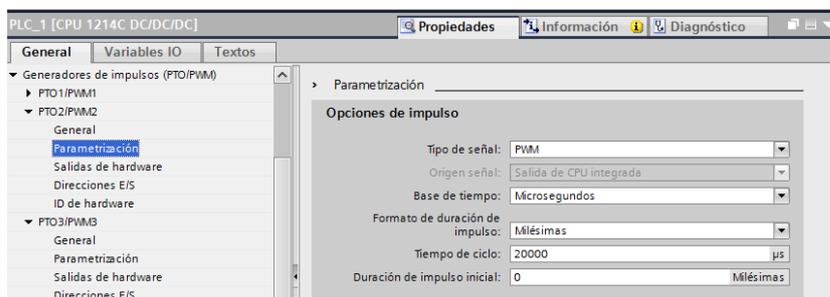


Figura 90. Parámetros necesarios para el movimiento del servo.

El servomotor está ubicado en la nueva admisión de aire como se muestra en la **Figura 91**, el movimiento circular del servo es transmitido por el engrane hacia la cremallera, así este pasa de ser un movimiento circular a ser un movimiento lineal que se lo utiliza para la abrir o cerrar la compuerta. El torque del servomotor MS-311 es el necesario para mover la compuerta como se esperaba.



Figura 91. Adaptación del servomotor con la nueva admisión de aire.

4.3. PRUEBA DEL SENSOR MQ-7

Previo a efectuar las pruebas con el sensor MQ7, se procedió a realizar el acondicionamiento de señal respectivo para el correcto funcionamiento de este, aplicando una alimentación de 5Vcc durante 60 segundos y 1,4Vcc durante 90 segundos se garantizaba que el sensor brindaría una lectura correcta de ppm de CO, antes de ser montado el sensor en el prototipo en general se realizaron varias pruebas con diferentes fuentes emisoras de monóxido de carbono, obteniendo los siguientes resultados:

Primera prueba (Emisiones de CO de un cigarrillo).

Para esta prueba se aplicó de manera constante humo de cigarrillo directamente a la zona en donde se encontraba el sensor, obteniendo siempre medidas de 5ppm, que en evidencia con la teoría un cigarrillo produce 5ppm al momento de combustionar todos los químicos que lo conforman, realizada esta prueba varias veces y obtenidos siempre los mismos resultados, determinamos que el sensor MQ7 funciona correctamente ante emisiones de CO generadas por un cigarrillo.

Segunda prueba (Emisiones de CO al combustionar papel).

Para esta prueba se acumuló papel común y corriente en un envase capaz de soportar temperaturas que generase el papel encendido, seguidamente con la generación del humo producto de la combustión se procede a introducir el sensor en la zona afectada por la emisión, obteniendo de esta manera una medición de 12 ppm, que en concordancia con la teoría ya expuesta en esta tesis evidencia el funcionamiento correcto del sensor ante emisiones generadas por la combustión de papel.

Tercera prueba (Emisiones de CO de una fosforera).

De la misma manera que en las pruebas anteriores para esta se aplicó de manera directa el gas de la fosforera al sensor, obteniendo medias superiores a 1000 ppm, y recordando que el monóxido de carbono se genera por el combustible excedente en la combustión confirma que el sensor funciona correctamente ante este tipo de emisiones ya que 1000 ppm seguramente en una persona en un tiempo prudente causaría la muerte.

Concluidas las pruebas independientes del sensor, obteniendo medidas correctas ante emisiones de monóxido de carbono generadas por diferentes fuentes generatrices se procede al ensamble del prototipo en general.

4.4. PRUEBA GENERAL DEL PROTOTIPO

Una vez armado el prototipo con todos sus accesorios, previamente comprobado sus funcionamientos, quemador, en conjunto con el hogar y la chimenea, el sistema de intercambio de calor y el sensor MQ7. Se procede a poner en marcha el quemador, como acción de esto se evidencia la presencia de humo en la chimenea y en el ducto del sistema en donde se encuentra el sensor, garantizando que el sensor está siendo afectado directamente por el humo que genera la combustión, que era lo esperado, se procede a la toma de medidas brindadas por el sensor, tomando en cuenta el funcionamiento del MQ7, es posible la obtención de medidas solamente cuando el valor del voltaje de alimentación se encuentra en 5Vcc, mientras permanezca en el flanco de 1,4Vcc entra en un lapso de estabilización de la sonda del medidor, se obtuvieron las siguientes mediciones:

| COMPORTAMIENTO DE SENSOR MQ-7 | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------|
| 60 segundos @ 5 Vcc | | 90 segundos @ 1.4 Vcc | 60 segundos @ 5 Vcc | | |
| SEGUNDOS HABLES DE MEDICION | LECTURA DEL SENSOR EN PPM | El sensor no realiza ninguna medición, en este lapso la sonda se reestablece para volver a tomar medidas de CO cuando se reinicie el ciclo con 5Vcc. | SEGUNDOS HABLES DE MEDICION | LECTURA DEL SENSOR EN PPM | |
| 1 | 20 | | | 1 | 0,34 |
| 2 | 29 | | | 2 | 0,57 |
| 3 | 30 | | | 3 | 0,73 |
| 4 | 35 | | | 4 | 0,96 |
| 5 | 40 | | | 5 | 1,2 |
| 6 | 41 | | | 6 | 1,8 |
| 7 | 42 | | | 7 | 2 |
| 8 | 43 | | | 8 | 2,37 |
| 9 | 44 | | | 9 | 2,37 |
| 10 | 45 | | | 10 | 2,37 |
| 11 | 30 | | | 11 | 2,37 |
| 12 | 25 | | | 12 | 2,37 |
| 13 | 22 | | | 13 | 2,37 |
| 14 | 15 | | | 14 | 2,37 |
| 15 | 8 | | | 15 | 2,37 |
| 16 | 4 | | | 16 | 2,37 |
| 17 | 2 | | | 17 | 2,37 |
| 18 | 0,684 | | | 18 | 2,37 |
| 19 | 0,684 | | | 19 | 2,37 |
| 20 | 0,684 | | | 20 | 2,37 |
| 21 | 0,684 | | | 21 | 2,37 |
| 22 | 0,684 | | | 22 | 2,37 |
| 23 | 0,684 | | | 23 | 2,37 |
| 24 | 0,684 | | | 24 | 2,37 |
| 25 | 0,684 | | | 25 | 2,37 |
| 26 | 0,684 | | | 26 | 2,37 |
| 27 | 0,684 | | | 27 | 2,37 |
| 28 | 0,684 | | | 28 | 2,37 |
| 29 | 0,684 | | | 29 | 2,37 |
| 30 | 0,684 | | | 30 | 2,37 |
| 31 | 0,684 | | | 31 | 2,37 |
| 32 | 0,684 | | | 32 | 2,37 |
| 33 | 0,684 | | | 33 | 2,37 |
| 34 | 0,684 | | | 34 | 2,37 |
| 35 | 0,684 | | 35 | 2,37 | |

→
CONTINÚA

| | | | | |
|----|-------|--|----|------|
| 36 | 0,684 | | 36 | 2,37 |
| 37 | 0,684 | | 37 | 2,37 |
| 38 | 0,684 | | 38 | 2,37 |
| 39 | 0,684 | | 39 | 2,37 |
| 40 | 0,684 | | 40 | 2,37 |
| 41 | 0,684 | | 41 | 2,37 |
| 42 | 0,684 | | 42 | 2,37 |
| 43 | 0,684 | | 43 | 2,37 |
| 44 | 0,684 | | 44 | 2,37 |
| 45 | 0,684 | | 45 | 2,37 |
| 46 | 0,684 | | 46 | 2,37 |
| 47 | 0,684 | | 47 | 2,37 |
| 48 | 0,684 | | 48 | 2,37 |
| 49 | 0,684 | | 49 | 2,37 |
| 50 | 0,684 | | 50 | 2,37 |
| 51 | 0,684 | | 51 | 2,37 |
| 52 | 0,684 | | 52 | 2,37 |
| 53 | 0,684 | | 53 | 2,37 |
| 54 | 0,684 | | 54 | 2,37 |
| 55 | 0,684 | | 55 | 2,37 |
| 56 | 0,684 | | 56 | 2,37 |
| 57 | 0,684 | | 57 | 2,37 |
| 58 | 0,684 | | 58 | 2,37 |
| 59 | 0,684 | | 59 | 2,37 |
| 60 | 0,684 | | 60 | 2,37 |

Obtenidos estos valores de medición, fue evidente que el funcionamiento del sensor estaba siendo incorrecto, existía alguna variable física que hacía que el medidor arroje valores erróneos, como los que se muestran en la tabla anterior, recurriendo nuevamente a las hojas de especificaciones del sensor MQ7 luego de una extenuada investigación no existía información clara del sensor en mención, se determinó que la sonda del sensor se veía afectada a un gas denominado dióxido de azufre SO₂, que se origina resultado de la combustión del azufre contenido en combustibles fósiles tales como el diésel, combustible empleado para el desarrollo de este proyecto, de este modo determinamos que el sensor de monóxido de carbono MQ7 no es el adecuado para mediciones de emisiones de monóxido de carbono en ambientes que contengan aparte de este gas SO₂.

Tomado en cuenta lo sucedido con el sensor planteado en primer plano en el proyecto, fue necesaria la búsqueda de un sensor que presentara como característica específica, soportar ambientes de gases de combustión, para lo cual se presentaba el sensor SPSTAXC2, serie Sensepoint de la línea Analithics de sensores medidores de gases tóxicos de Honeywell



FIGURA 92 SENSOR DE MONOXIDO DE CARBONO SPSTAXC2

El presente documento consta de un CD propio del sensor en donde se indica claramente su manual de instalación, tanto en características mecánicas como eléctricas necesarias para que el sensor pueda ser instalado de manera correcta.

Puesto que el sensor de monóxido de carbono SPSTAXC2 brinda una señal análoga de corriente de 4 a 20 mA y el PLC S71200 consta con entradas análogas de voltaje, fue necesario el acondicionamiento de la señal de corriente para obtener una adecuada para el PLC (señal de voltaje), para su obtención se aplica la conocida ley de OHM que proporciona valores de voltaje en relación a los valores de corriente que brinda el sensor, para lo cual se realiza el siguiente cálculo de la resistencia:

$$R * I_{maxSensor} = V$$

En donde:

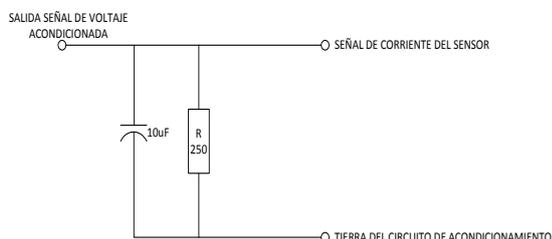
R : Valor de la resistencia a colocar.

$I_{maxSensor}$: Valor de corriente máximo de medida emitido por el sensor.

V : 5V

$$R = \frac{V_{sopPLC}}{I_{maxSensor}} = \frac{5V}{20 mA} = 250 \Omega$$

Una vez implementado el sistema de acondicionamiento de señal como se muestra en el diagrama.



Se obtuvieron valores de voltaje que van desde el 1V hasta 5V, para la obtención de estos valores se aplicó la ley de OHM de la siguiente manera:

$$V_{max} = I * R = 0,004 A * 250 \Omega = 1V$$

$$V_{max} = I * R = 0,020 A * 250 \Omega = 5V$$

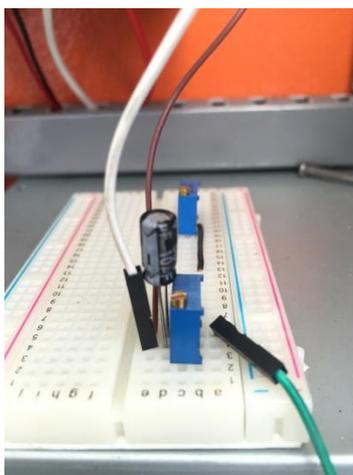


FIGURA 93. IMPLEMENTACION DE ACONDICINAMIENTO DE SEÑAL

Con señales adecuadas para ser procesadas en el PLC, el siguiente paso fue linealizar la señal de voltaje para que esta pueda ser leída como PPM (Partes Por Millón de CO), para esto se aplica el uso de dos puntos específicos en el plano cartesiano, las coordenadas son proporcionados por valores equivalentes en relación de voltaje y PPM, tenemos los puntos $P1(1; 0)$, $P2(5; 500)$ en donde el primer valor equivale a voltaje y el segundo a partes por millón, indicando que si el sensor marca

1V, las emisiones se encontraran en 0 PPM, de igual manera para el punto P2, aplicando formulas de la ecuación de la recta:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{500 - 0}{5 - 1} = 125$$

$$b = Y - mX = -125(1)$$

Entonces la ecuación de la recta resultante en PPM es:

$$ppmCO = 125(X - 1)$$

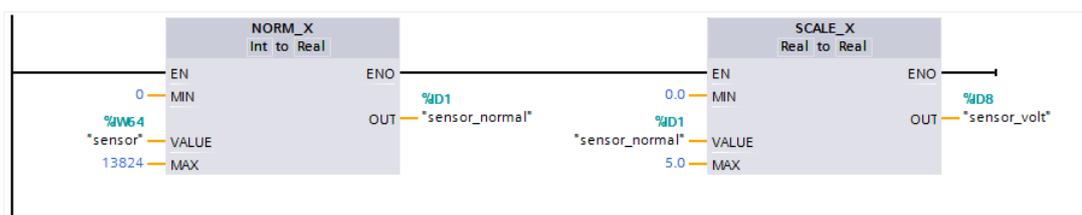
Esta ecuación es la que posteriormente será implementada en el PLC.

De esta manera es posible obtener valores equivalentes tanto en voltaje como en corriente como también en PPM como muestra la siguiente tabla:

| I (A) | V (V) | PPM |
|-------|-------|--------|
| 0,004 | 1 | 0 |
| 0,005 | 1,25 | 31,25 |
| 0,006 | 1,5 | 62,5 |
| 0,007 | 1,75 | 93,75 |
| 0,008 | 2 | 125 |
| 0,009 | 2,25 | 156,25 |
| 0,01 | 2,5 | 187,5 |
| 0,011 | 2,75 | 218,75 |
| 0,012 | 3 | 250 |
| 0,013 | 3,25 | 281,25 |
| 0,014 | 3,5 | 312,5 |
| 0,015 | 3,75 | 343,75 |
| 0,016 | 4 | 375 |
| 0,017 | 4,25 | 406,25 |
| 0,018 | 4,5 | 437,5 |
| 0,019 | 4,75 | 468,75 |
| 0,02 | 5 | 500 |

Realizados los cálculos matemáticos correspondientes se procede a la implementación del algoritmo de programación en el PLC, el algoritmo implementado en el PLC está basado en las ecuaciones obtenidas matemáticamente en pasos anteriores, para lo cual presenta 4 segmentos de programación divididos en:

Segmento 1, que corresponde al escalamiento del valor digital de la entrada análoga de 0 a 5 V.

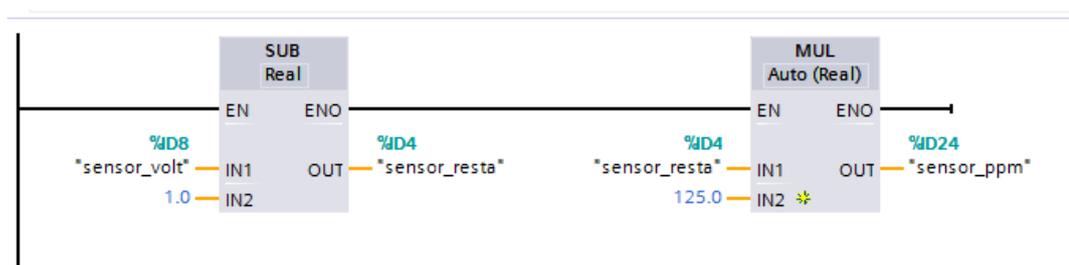


Se transforma la variable de entrada de tipo entero a una variable de tipo real que es la adecuada para realizar las siguientes operaciones en los segmentos 2, 3, 4.

Para normalizar la señal es necesario transformas la señal análoga que envía el sensor a una señal digitalizada que el PLC será capaz de entender, en este caso la señal análoga obtenida es de 0 a 5V, es decir a la mitad de lo que el PLC en bits puede leer, este valor a 10V sería en bits 27648, entonces a 5V es el valor que se muestra en la pantalla (13824).

Mediante la función SCALE que brinda el PLC se transforma la señal (sensor_normal) que es de tipo real (bits) a otra que es también de tipo real (sensor_volt) pero ya con valores de voltaje listos para ser utilizados.

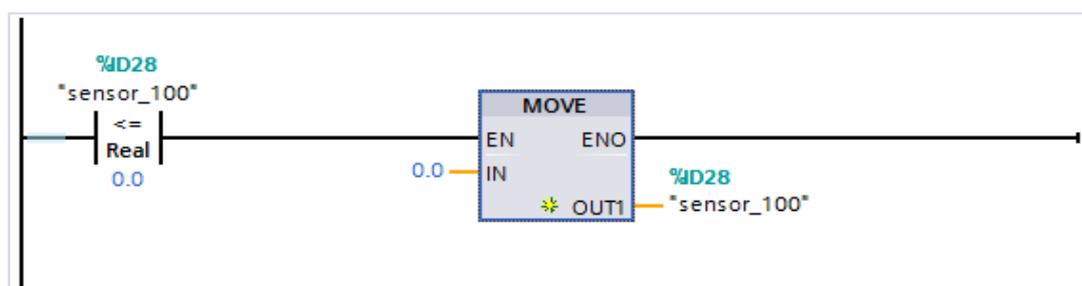
Segmento 2, indica el escalamiento del valor de voltaje que envía el sensor a partes por millón PPM.



Se utilizan funciones matemáticas existentes como herramientas del PLC, de esta forma se llega a escribir la ecuación hallada anteriormente $ppmCO = 125(X - 1)$

que indica el comportamiento del sensor indicando las PPM en función a valores de voltaje, la función SUB indica la resta del valor de X, que representa los valores de voltaje menos 1, resultado de se obtiene el valor que será multiplicado mediante la función MUL por 125, quedando así expresada la ecuación de la recta.

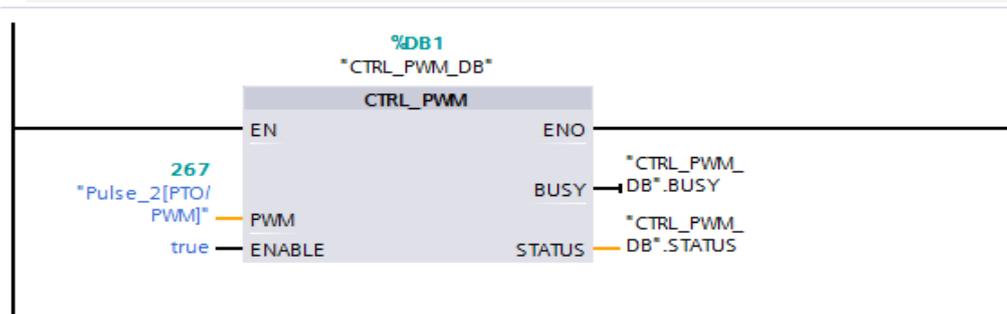
Segmento 3, permite que el valor de posicionamiento evidenciado en el panel touch no sobrepase un valor determinado.



En este caso solamente se visualizaran valores los valores que no sobrepasen el valor de 100 ni tampoco valores menores de 0 que son los intervalos utilizados para el posicionamiento del servomotor en función de la apertura de la compuerta de la admisión de aire.



Segmento 4, realiza netamente el control de posicionamiento del servomotor, en este segmento es posible la regulación del sistema a las emisiones que sean requeridas.



El PLC S71200 consta como una función de control por ancho de pulso, característica de esto el plc en su configuración DC/DC/DC brinda salidas transistorizadas específicas para controles PWM, mediante este se controla el posicionamiento del servomotor, es decir controla la posición de la compuerta que permite el paso de oxígeno utilizado para realizar la mezcla aire combustible en el interior del quemador.

Implementado el control PWM se realizan pruebas pertinentes en donde se reflejaron los siguientes valores

| POSICIONAMIENTO DE LA COMPUERTA (posición física de la compuerta cm) | VALOR DE POSICIONAMIENTO (porcentaje de apertura de 8cm) | VALOR DE EMISION DE CO EN mA (valores tomados en un intervalo de 5 min) | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------|
| | | min | Max |
|  0cm | 100 % (C. cerrada) | 6,8 mA | 7,9 mA |
|  1cm | 87,5 % (C. cerrada) | 8 mA | 10,4 mA |
|  2cm | 75 % (C. cerrada) | 11,4 mA | 17,1 mA |
|  3cm | 62,5 % (C. cerrada) | 14,4 mA | 20,5 mA |
|  50 % (C. cerrada) | 50 % (C. cerrada) | 15 mA | 21 mA |

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|---------|
| 4cm | | | |
|  5cm | 37,5 % (C. cerrada) | 16,3 mA | 23 mA |
|  6cm | 25 % (C. cerrada) | 13,2 mA | 20,1 mA |
|  7cm | 12,5 % (C. cerrada) | 10 mA | 16,2 mA |
|  8cm | 0 % (C. cerrada) | 5.3 mA | 8 mA |

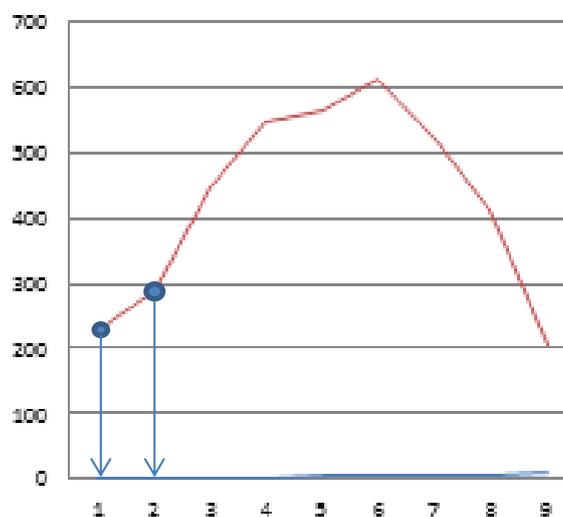
Con la obtención de estos valores de corriente y luego que la señal sea procesada por el PLC se logran obtener los siguientes valores de voltaje y PPM correspondientes a los valores de corriente presentados en la tabla anterior.

| VALOR DE EMISION DE CO EN VALORES DE CORRIENTE (mA) | | VALOR DE EMISION DE CO EN VALORES DE VOLTAJE (V) | | VALORES DE EMISION DE CO EN VALORES DE PPM | |
|-----------------------------------------------------|------|--------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------|---------|
| Min | Max | Min | Max | Min | Max |
| 6,8 | 7,9 | 1,7 | 1,975 | 87,5 | 371,875 |
| 8 | 10,4 | 2 | 2,6 | 125 | 450 |
| 11,4 | 17,1 | 2,85 | 4,275 | 231,25 | 659,375 |
| 14,4 | 20,5 | 3,6 | 5,125 | 325 | 765,625 |
| 15 | 21 | 3,75 | 5,25 | 343,75 | 781,25 |

| | | | | | |
|------|------|-------|-------|---------|---------|
| 16,3 | 23 | 4,075 | 5,75 | 384,375 | 843,75 |
| 13,2 | 20,1 | 3,3 | 5,025 | 287,5 | 753,125 |
| 10 | 16,2 | 2,5 | 4,05 | 187,5 | 631,25 |
| 5,3 | 8 | 1,325 | 2 | 40,625 | 375 |

Fue necesario la obtención de valores máximo y mínimos ya que la generación de los gases expulsados por el quemador genera un fluido turbulento del cual no es posible mantener una medida constante de la emisión, por caso de estudio se tomaron valores máximos y mínimos a diferentes medidas de apertura de la compuerta con el afán de promediar y obtener una medida en PPM coherente y de esta manera evidenciar que las emisiones de monóxido de carbono varían de acuerdo con la apertura de la compuerta de admisión de aire.

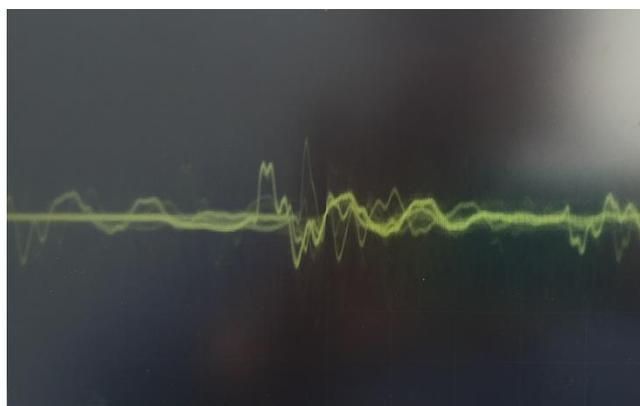
| VALORES DE EMISION DE CO EN VALORES DE PPM | | VALORES PROMEDIO EN PPM |
|--------------------------------------------|---------|-------------------------|
| Min | Max | |
| 87,5 | 371,875 | 229,6875 |
| 125 | 450 | 287,5 |
| 231,25 | 659,375 | 445,3125 |
| 325 | 765,625 | 545,3125 |
| 343,75 | 781,25 | 562,5 |
| 384,375 | 843,75 | 614,0625 |
| 287,5 | 753,125 | 520,3125 |
| 187,5 | 631,25 | 409,375 |
| 40,625 | 375 | 207,8125 |



Interpretando la gráfica, y tabla mostrada se puede notar claramente la forma que sigue la curva, indicando la variación de emisiones de monóxido de carbono según la apertura de la compuerta, el valor promedio empleado no es utilizado como dato real del sistema ya que las emisiones no alcanzan o difieren de tal valor, este valor fue

utilizado para poder obtener una gráfica general que abarque tanto valores máximos como mínimos de emisiones, y determinar la apertura adecuada en la cual el quemador no supere emisiones establecidas, para este caso de estudio la emisión de monóxido de carbono debería mantenerse entre las 100 y 200 PPM, basados en las tablas mostradas, indica que el quemador fluctúe entre estos valores permitidos deberá encontrarse en un valor promedio de 287,5 ppm que equivaldrá a la emisión de monóxido de carbono aproximadamente, considerando que los valores máximos y mínimos son picos de señal. Basados en esta interpretación el sistema de admisión de aire deberá mantenerse a 2 cm de apertura de la compuerta es decir al 75 por ciento cerrada la compuerta, de esta manera se está garantizando que la emisión fluctúe entre más o menos un rango de 75 ppm y 300 ppm que es lo más próximo.

Con propósitos de mejorar el sistema se planteó la elaboración de un nuevo control (PID), para esto, siendo necesario que el comportamiento de la variable física mantenga valores constantes (no fluctúe), se implementa en el interior de la chimenea una tubería de 2 plg de acero y 3 metros de longitud conectado directamente a los intercambiadores de calor mediante un codo a 90°, de esta manera garantizar la toma de emisiones directamente del quemador, llegando a determinar que la generación del fluido turbulento se produce cuando se realiza la mezcla aire combustible en este tipo de quemadores, ya que es en donde se producen los excesos o ausencias de las variables intervinientes en la combustión.



CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Para que la medición sea tomada correctamente es necesario que los gases lleguen de manera directa a la sonda del transmisor.
- Es necesario que los gases de salida producto de la combustión al final de la chimenea lleguen a menos de 50 grados centígrados ya que el transmisor trabaja en este rango.
- Tomadas medidas de temperatura al final de la chimenea bordeaba los 100 grados centígrados por lo cual fue necesario la implementación de un sistema de intercambio de calor, obteniendo temperaturas de 30 grados centígrados o menores.
- El sistema de admisión de aire original del quemador no permite realizar un control automático de ingreso del fluido por tal razón fue necesario rediseñarlo.
- El sensor de monóxido de carbono MQ7 funciona correctamente en tomas de medidas de emisiones de monóxido de carbono en papel, gas de fosforera, cigarrillo.
- El sensor de monóxido de carbono MQ7 no brinda mediciones correctas cuando la sonda de este se encuentra en contacto con otros gases generados producto de la combustión del diésel como por ejemplo el SO_2 que afecta a la sensibilidad del sensor MQ7.
- Un control por ancho de pulso permite controlar el posicionamiento de una compuerta del sistema nuevo de admisión, que hace variar el flujo de aire utilizado para la combustión evidenciando las emisiones de gases.
- Un mecanismo piñón cremallera permite transformar de movimiento circular generado por el actuador del sistema de admisión nuevo hacia la cremallera colocada en la compuerta del sistema.
- Se asegura por teoría que a mayor cantidad de aire en la combustión menores serán las emisiones de monóxido de carbono, de igual manera mientras menor sea

la cantidad de aire menor será la cantidad de combustible consumido por tal razón las emisiones de CO serán mayores.

- Un quemador trabaja a su máximo rendimiento es decir a su máxima eficiencia cuando las emisiones de CO están entre 100 y 200 ppm.
- Se puede determinar si existe presencia de emisiones de CO en el color del humo al final de la chimenea, si este es negro mayores emisiones.
- La turbulencia de la variable, es decir por limitaciones físicas fue posible la realización de un control proporcional.
- No es posible un control integral debido a que esta acción varía en función a la desviación de la salida y del tiempo en que se mantiene esta desviación.
- No es posible un control derivativo ya que este no se usa de forma independiente.

5.2. RECOMENDACIONES

- Previo al funcionamiento general del sistema es necesario realizar el cebado de las bombas que lo conforman, como son; bomba de combustible ubicada en el quemador y la bomba del sistema de intercambio de calor.
- Colocar todos los pernos de sujeción de la parte trasera del hogar del sistema, de no colocar estos existe evacuación de gases producto de la combustión por donde no se desea y la medición puede variar.
- A partir del final del hogar donde inicia la chimenea hasta el final de esta, conservar una distancia prudente de contacto, ya que en esta sección el sistema no consta de aislamiento térmico bordeando los 65 grado centígrados, temperatura que puede causar daños físicos a quien entre en contacto.
- Dependiendo del uso que se le dé al sistema es necesario brindar un mantenimiento cada determinado tiempo en el interior del hogar ya que aquí se acumula el denominado hollín y no permite la visibilidad de la llama desde el exterior del hogar, de igual forma estas acumulaciones de hollín pueden acumular ppm de CO restantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Pulido, M. (2004). *Controladores Lógicos*. Barcelona (España): MARCOMBO, S.A.
- Angulo Bahón, C., & Raya Giner, C. (2004). *Tecnología de sistemas de control*. Catalunya (España): Universidad Politécnica de Catalunya (UPC).
- Balcells, J., & Romeral, J. L. (1997). *AUTÓMATAS PROGRAMABLES*. Barcelona (España): MARCOMBO, S.A.
- Batlle Gayán, J. (2007). *Energía mediante Vapor, Aire o Gas*. Barcelona (España): REVERTÉ, S.A.
- Bermúdez Tamarit, V. (2000). *TECNOLOGÍA ENERGÉTICA*. Valencia (España): REPROVAL, S.L.
- Creus Solé, A. (2011). *NEUMÁTICA E HIDÁULICA*. Barcelona (España): MARCOMBO, S.A.
- Domingo Peña, J., Gámiz Caro, J., Grau i Saldes, A., & Martínez García, H. (2003). *Diseño y aplicaciones con autómatas programables*. UOC.
- Enríquez, H. (1995). *Fundamentos de Control de Motores Eléctricos en la Industria*. Balderas (México): LIMUSA.
- Escudero Salas, C., & Fernández Inglesias, P. (2013). *Máquinas y equipos térmicos*. Madrid (España): COPYRIGHT.
- Gomáriz Castro, S. (1998). *Teoría de control: Diseño electrónico*. Calanunya (España): Universidad Politécnica de Catalunya (UPC).
- Guzmán Antamba, A. R., & Peralvo Clavón, M. A. (OCTUBRE de 2011). *ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE CICLO DIESEL, USANDO COMBUSTIBLE MICROEMULSIONADO CON AGUA*. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - FACULTADE DE INGENIERÍA MECÁNICA.
- Harmsen, T. E. (2005). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO*. Lima (Perú): Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hyde, J., Regué, J., & Cuspinera, A. (1997). *ELECTRONEUMÁTICO Y ELECTRÓNICO*. Barcelona (España): MARCOMBO, S.A.
- i Casals, M. R. (2003). *Instalaciones de Calefacción*. Barcelora (España): UOC.
- Maloney, T. J. (2006). *Electrónica industrial moderna*. México: PEARSON EDUCACIÓN.

- Maluquer, J. J. (1981). *CENTRALES DE VAPOR*. Barcelona (España): REVERTÉ, S.A.
- Márquez, M. (2005). *Combustión y Quemadores*. Barcelona (España): MARCOMBO.
- Martín, J. C., & García, M. P. (2009). *Automatismos Industriales*. EDITEX.
- Martínez Álvarez, V. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas e riego*. Barcelona (eSPAÑA): MARCOMBO, S.A.
- Medina, J. L., & Guadayol, J. M. (2010). *LA AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA QUÍMICA*. Barcelosna (España): Universidad Politécnica de Catalonia (UPC).
- Ñeco García, R. P. (2003). *APUNTES DE SISTEMAS DE CONTROL*. Club Universitario.
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid (España): PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Pallás Areny, R. (2003). *SENSORES y ACONDICIONADORES de SEÑAL*. Barcelona (España): MARCOMBO S.A.
- RITE-07. (2010). *Reglamento de Instalaciones Térmicos en los Edificios*. Madrid (España): LITEAM.
- Rodríguez Díaz, F., & Berenguel Soria, M. (2004). *Control y robótica en agricultura*. Universidad Almería.
- Ruiz Canales, A., & Molina Martínez, J. M. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Barcelona (España): MARCOMBO, S.A.
- Sanchaz del Castillo, F., & Sanchaz del Castillo, D. (2014). *CONTROL DE REFRIGERACIÓN*. UNED.
- Serna Ruiz, A., Ros García, F. A., & Rico Noguera, J. C. (2010). *Guía Práctica de Sensores*. (España): Copyright, S.L.
- Serrano, J. C. (2004). *ANÁLISIS TEÓRICO DE LA COMBUSTIÓN EN QUEMADORES DE GAS NATURAL*. Cali: Scientia et Technica Año XI, No 29, Diciembre de 2005. UTP. ISSN 0122-1701.
- Sobrevila, M. A. (2014). *Instalaciones eléctricas*. Buenos Aires (Argentina): ALSINA.
- Sobrevila, M. A. (s.f.). *SENSORES ELÉCTRICOS*. Buenos Aires (Argentina): ALSINA.

Solbes i Monzó, R. (2014). *Automatismos industriales*. Valencia (España): Nau Libres.

Valdivia Miranda, C. (2012). *SISTEMAS DE CONTROL CONTINUOS Y DISCRETOS*. Paraninfo.

Vargas Culqui, D. D. (2014). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE COMBUSTIÓN Y MONITOREO DE GASES GENERADOS EN EL CALDERO 3 DEL IESS HOSPITAL DE AMBATO*. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.

Jahan Ara Ferdousi, Samiul Ehsan Ananto y Md Naveed Ahmed, *SISTEMAS SENSOR*. Naveed S.A. 2014,

LINKOGRAFÍA

- Amain. (14 de Noviembre de 2007). *amainhobbies.com*. Recuperado el 12 de Marzo de 2015, de amainhobbies.com:
<http://www.amainhobbies.com/search?s=hitec+servos>
- Amell, A. A. (25 de Septiembre de 2009). *TIPOS DE LLAMAS*. Recuperado el 12 de febrero de 2015, de UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA-FACULTAD DE INGENIERÍA-GRUPO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL GAS:
<https://es.scribd.com/doc/20430663/Tipos-de-Llamas>
- ATECYR, A. T. (14 de Febrero de 2007). *Guía técnica sobre procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas*. Recuperado el 05 de Marzo de 2015, de Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE):
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Procedimientos_inspeccion_calderas_GT5_07_f5b208e3.pdf
- ATECYR, A. T. (12 de Junio de 2010). *Guía técnica de diseño de centrales de calor eficientes*. Recuperado el 12 de Marzo de 2015, de Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE):
<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/CentralesCalor.pdf>
- ATSDR, A. F. (29 de Junio de 2012). *MONÓXIDO DE CARBONO*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de División de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQsTM: http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts201.pdf
- Atsintech. (27 de Abril de 2005). *atsintech.com*. Recuperado el 5 de Mayo de 2015, de atsintech.com: <http://www.atsintech.com/tablas/ITSBook.pdf>
- Avendaño M. Sc, L. E. (30 de Enero de 2006). *FUNDAMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN*. Recuperado el 11 de febrero de 2015, de UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA:
<http://www.utp.edu.co/~mauriciorami/libro2.pdf>
- Candelas Herías, F. A., & Corrales Ramón, J. A. (Jueves 20 de Septiembre de 2007). *Servomotores*. Recuperado el 10 de Mayo de 2015, de Universidad de Alicante - Grupo de Automática, Robótica y Visión Artificial - Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal:
<https://es.scribd.com/doc/228367403/Servos>

- Cubaeduca. (2009). *Los derivados del petróleo*. Recuperado el 10 de Mayo de 2015, de Combustibles diesel (gasóleos):
<http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2428.pdf>
- Elrowadtm. (Martes de Enero de 2014). *ElRowad*. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de Automation Sistem:
<http://elrowadtm.net/index.php/en/training/details/18/%C2%A0Programing-Siemens-PLC-S7-200-level-one>
- Fénix, E. (2005). *Catálogo de Productos*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de Presurizados PF y PF dual:
<http://www.efenix.com.ar/Documentos/CatalogoCompleto.pdf>
- Fernández Díez, P. (2009). *CALEFACCIÓN*. Recuperado el 16 de Mayo de 2015, de <http://files.pfernandezdiez.es/Refrigeraci%C3%B3n/PDFs/07cal.pdf>
- GREENACTION. (Agosto de 2012). *Proyecto de capacitación sobre diesel y emisiones*. Recuperado el 25 de Marzo de 2015, de Cómo reducir la contaminación diesel en su comunidad: http://greenaction.org/wp-content/uploads/2013/02/En-Espanol-Greenaction-Diesel-Project-Tool-Kit-August-2012_ESPANOL.pdf
- Guagchinga Moreno, L. V., & Guamaní Mena, E. M. (2012). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN ELECTRÓNICO DE GASES CONTAMINANTES Y CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN DOS LUGARES DE LA CIUDAD DE LATACUNGA UTILIZANDO UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN BASADO EN TECNOLOGÍA ZIGBEE*. Recuperado el 19 de Mayo de 2015, de ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA - DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6042/1/T-ESPEL-0981.pdf>
- HANWEI ELECTRONICS CO, L. (2008). *TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR*. Recuperado el 25 de Marzo de 2015, de Datasheet: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
- Henan Hanwei Electronics Co, L. (2011). *MQ-7 Semiconductor Sensor for Carbon Monoxide*. Recuperado el 25 de Marzo de 2015, de datasheet: http://www.pololu.com/file/download/MQ7.pdf?file_id=0J313
- IIMPI. (Octubre de 2013). *TRANSDUCTORES*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de Departamento de Diseño Mecánico - Instrumentacion Industrial: www.iimpi.com

- INEN, I. E. (2012). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1489:99*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. DIESEL.:
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1489.2012.pdf>
- Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. (1990-2012). *Análisis por actividades SNAP*. Recuperado el 09 de Febrero de 2015, de COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA:
http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/01_Combusti%C3%B3n_en_la_producci%C3%B3n_y_transformaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_-_VNC_tcm7-219781.pdf
- Jaya Sucozhañay, J. L., & Gomezcoello Vázquez, J. L. (Enero de 2012). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CONTAMINACIÓN AT,OSFÉRICA PRODUCIDA POR LA COMBUSTIÓN EN LADRILLERAS ARTESANALES UTILIZANDO TRES TIPOS DE COMBUSTIBLES*. Recuperado el 20 de Marzo de 2015, de UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA - CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL:
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6359/1/UPS-CT002924.pdf>
- Jiménez León, B. T. (2004). *MEJORAMIENTO DE OPERACIÓN DE HORNO DE FUSIÓN POR MEDIO DEL USO DE QUEMADORES DE COMBUSTIBLE MIXTO ENRIQUECIDO CON OXIGENO*. Recuperado el 09 de Febrero de 2015, de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL - FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN: http://www.cib.espol.edu.ec/digipath/d_tesis_pdf/d-32861.pdf
- Ligna Padilla, D. R., & Siguencia Curisaca, N. G. (Julio de 2011). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN PARA EL SISTEMA GENERADOR DE VAPOR DE LA EMPRESA "INTERQUIMEC AKZONOBEL"*. Recuperado el 09 de Febrero de 2015, de ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL- INGENIERÍA MECÁNICA:
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4010/1/CD-3764.pdf>
- Marrón, I. (. (2011). *GASOIL*. Recuperado el 29 de Enero de 2015, de CARACTERISTICAS Y MANEJO A CAMPO:
<http://mecymaq.criba.edu.ar/attachments/section/1/GASOIL2.pdf>
- Mavainsa. (2011). *"Combustión"*. Recuperado el 05 de Febrero de 2015, de MAVAINSA: http://www.mavainsa.com/documentos/3_combustion.pdf
- Mejía Quintero, E. (2012). *El vestuario como sensor ambiental*. Recuperado el 20 de Marzo de 2015, de TECHNO-COLOGIQUE:

https://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/68087/2/paper_technologique_%20vestuario.pdf

Méndez Guamán, M. E. (Julio de 2006). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESCUELA DE INGENIERÍA*. Recuperado el 20 de Febrero de 2015, de ESTUDIO DEL USO DE DISPOSITIVOS POSTCOMBUSTIÓN EN LOS VEHÍCULOS A DIESEL DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO:
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/300/1/CD-0280.pdf>

Ministerio de Economía Industria y Comercio. (12 de Noviembre de 1997). *Productos del petróleo. Aceite combustible diesel*. Recuperado el 14 de Febrero de 2015, de DECRETO N° 26443-MEIC:
<http://www.dse.go.cr/es/02ServiciosInfo/Legislacion/PDF/Hidrocarburos/Combustibles/DE-26443-MEICRegl.pdf>

Montalvo Andrade, D. A. (Octubre de 2010). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS*. Recuperado el 28 de Enero de 2015, de DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO PARA BAÑO DE SALES PARA EL TALLER DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA:
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4277/1/CD-3468.pdf>

Montalvo García, J. L., & Morocho Romero, W. M. (2011). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA CONTROL DEL PROCESO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE MONTAJE FESTO UTILIZANDO PLC Y UNA PANTALLA HMI, CASO PRÁCTICO: EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FIE*. Recuperado el 20 de Mayo de 2015, de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO - FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA - ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y CONTROL Y REDES INDUSTRIALES:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1329/1/108T0006.pdf>

Ortega Castro, J. C. (Lunes 23 de Abril de 2012). *INVESTIGACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LOS NIVELES DE CO Y CO2 EN LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE EN LA CIUDAD DE AZOGUES*. Recuperado el 20 de Marzo de 2015, de UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL - FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS - UNIDAD DE POSTGRADOS: <http://www.ug.edu.ec/>

ramaucsa. (6 de Enero de 2015). *RAMA ESTUDIANTIL DEL IEEE DE LA UCSA*. Recuperado el 12 de Enero de 2015, de

<http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/31/concepto-plc-controlador-logico-programable/>

Romero Tapia, A. A., & Vaca Almeida, P. D. (Mayo de 2012). *INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS A PARTIR DE FUENTES FIJAS, MÓVILES Y DE ÁREA EN LA CIUDAD DE LATACUNGA*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR - FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL - ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/235/1/T-UCE-0012-37.PDF>

Romero, D. M. (Julio de 2011). *Introducción a las aplicaciones industriales de procesamiento digital de datos*. Recuperado el 15 de Mayo de 2015, de Sistemas de Interfaz Humano Máquina (HMI):
<http://www.dc.uba.ar/events/eci/2011/cursos/ECI2011%20N1%20AplicIndu2.pdf>

Ruíz Caicedo, J. A., Másmela Vergara, N. E., & Ramírez Moreno, C. A. (Mayo de 2013). *INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO PARA USO RESIDENCIAL*. Recuperado el 03 de Abril de 2015, de VISIÓN ELECTRÓNICA:
<http://comunidad.udistrital.edu.co/jruiz/files/2013/05/Proyecto-formato-revista-cientifica.pdf>

Siemens. (21 de Octubre de 2009). *SIMATIC S7-1200*. Recuperado el 15 de Mayo de 2015, de SIMATIC S7-1200:
<https://www.siemens.ca/web/portal/en/ProductsServices/Documents/SummerSpecial/S7-1200%20CPU%20Touch%20Panel.pdf>

SIEMENS. (Abril de 2012). *SIMATIC*. Recuperado el 06 de Abril de 2015, de Controlador programable S7-200:
[file:///C:/Program%20Files%20\(x86\)/Siemens/SIMATIC%20S7-1200%20Documentation%202004-2012/Espanol/s71200_System_Manual_es-ES.pdf](file:///C:/Program%20Files%20(x86)/Siemens/SIMATIC%20S7-1200%20Documentation%202004-2012/Espanol/s71200_System_Manual_es-ES.pdf)

sparkfunelectronics. (16 de Octubre de 2009). *sparkfun.com*. Recuperado el 10 de febrero de 2015, de sparkfun.com: <https://www.sparkfun.com/products/9403>

Suallabs.com. (10 de Junio de 2015). *Sual Labs*. Recuperado el 15 de Abril de 2015, de Sual Labs: <http://www.suallabs.com/Modulo-Sensor-de-Monoxido-de-Carbono-MQ7>

Suárez Bastidas, L. V. (Octubre de 2013). *AHORRO ENERGÉTICO EN HORNOS TIPO TÚNEL, QUE OPERAN CON GLP*. Recuperado el 29 de Enero de 2015, de ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - FACULTAD DE

INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA:

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6838/1/CD-5163.pdf>

testo, T. R. (2010). *Optimización de la COMBUSTIÓN*. Recuperado el 30 de Enero de 2015, de TESTO:

<http://www.tiemporeal.es/archivos/OptimizacionCombustion.pdf>

Universidad de Burgos. (Octubre de 2013). *Manual de Calderas Industriales*.

Recuperado el 22 de Febrero de 2015, de

<https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2013/10/calderas-univ-burgos.pdf>

Universidad de Valladolid, D. I. (2011). *TECNOLOGÍA DE LA COMBUSTIÓN*.

Recuperado el 25 de Marzo de 2015, de INTRODUCCIÓN

QUEMADORES:

https://www5.uva.es/guia_docente/uploads/2011/375/51405/1/Documento6.pdf

University of California, L. A. (Agosto de 2003). *LAS EMISIONES DE DIESEL - LO*

QUE UD. DEBE SABER. Recuperado el 22 de Febrero de 2015, de UCLA

Labor Occupational Safety & Health Program (LOSH):

http://www.losh.ucla.edu/losh/resources-publications/factsheets/diesel_espanol.pdf

URSEA. (Mayo de 2014). *COMBUSTIBLES LÍQUIDOS (CON EXCEPCIÓN DE*

GLP). Recuperado el 20 de Febrero de 2015, de Texto Ordenado de URSEA

(Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua):

http://www.ursea.gub.uy/wps/wcm/connect/ac56540041cda6e1b3eef32c8d0a962d/TOR4+URSEA+Combustibles+Liquidos+2014+05.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ac56540041cda6e1b3eef32c8d0a962d

Vignoni, I. J. (2003). *SENSORES*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de

Instrumentación y Comunicaciones Industriales:

<http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/transparencia/Sensores.pdf>

Vistronica. (23 de Diciembre de 2008). *Tienda Virtual de electronica*. Recuperado el

20 de Abril de 2015, de Vistronica: [http://www.vistronica.com/modulo-](http://www.vistronica.com/modulo-sensor-de-monoxido-de-carbono-mq-7-detail.pdf)

[sensor-de-monoxido-de-carbono-mq-7-detail.pdf](http://www.vistronica.com/modulo-sensor-de-monoxido-de-carbono-mq-7-detail.pdf)

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo realizado por los señores **CARLOS ANDRÉS BONILLA CISNEROS** y **BYRON DANIEL TOVAR MOLINA**. En la ciudad de Latacunga, a los 11 días del mes de febrero del 2016.

Ing. Franklin Silva

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Katya Torres

DIRECTORA DE CARRERA

RVIDOR2\Downloads\ESCANER_001.jpg

Dr. Rodrigo Vaca

SECRETARIO ACADÉMICO