



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**“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”**





**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRONICA  
EXTENSIÓN LATACUNGA**

**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**



**PROYECTO REALIZADO POR:** Carlos Bonilla – Byron Tovar.

**DIRECTOR :** Ing. Franklin Silva.

**CODIRECTOR :** Ing. Washington Freire.

Junio 2015

# AGENDA

- Título del proyecto.
- Línea de investigación.
- Introducción.
- Objetivo general.
- Objetivos específicos.
- Quemador.
- Tipos de combustión.
- Combustión y sus productos.
- Monóxido de carbono (CO).
- Control por corrección de medida.
- Sensor de CO.
- Diseño mecánico.
- Diseño eléctrico y electrónico.
- Construcción e implementación.
- Pruebas y resultados
- Pantalla HMI – Estructura.
- Conclusiones.
- Recomendaciones.



# TÍTULO DEL PROYECTO

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.

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

- Maquinas térmicas (quemador).
- Diseño de elementos de máquinas.
- Resistencia de materiales.
- Sistemas de control eléctrico – electrónico.
- Automatización.

# INTRODUCCIÓN

En el sector industrial los quemadores han venido siendo parte fundamental en procesos térmicos. Con el funcionamiento de los quemadores diésel en los diferentes procesos industriales se presenta la generación de gases contaminantes como el monóxido de carbono, la constante inhalación de este gas provoca intoxicación, y su exceso la muerte.

Las emisiones de monóxido (CO) 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.



# OBJETIVO GENERAL



Diseñar y construir un prototipo de control automático de admisión de aire para disminuir las emisiones de monóxido de carbono en el quemador marca BEKET con capacidad de 0,4 a 3 GPH. Destinado al laboratorio de control eléctrico de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Diseñar y construir un sistema de almacenamiento y direccionamiento de gases.



Rediseñar y construir el sistema de admisión de aire.



Implementar el sensor de monóxido de carbono.



Diseñar e implementar un sistema de control automático de admisión de aire para el prototipo.



Disminuir las emisiones de monóxido de carbono.

# QUEMADOR

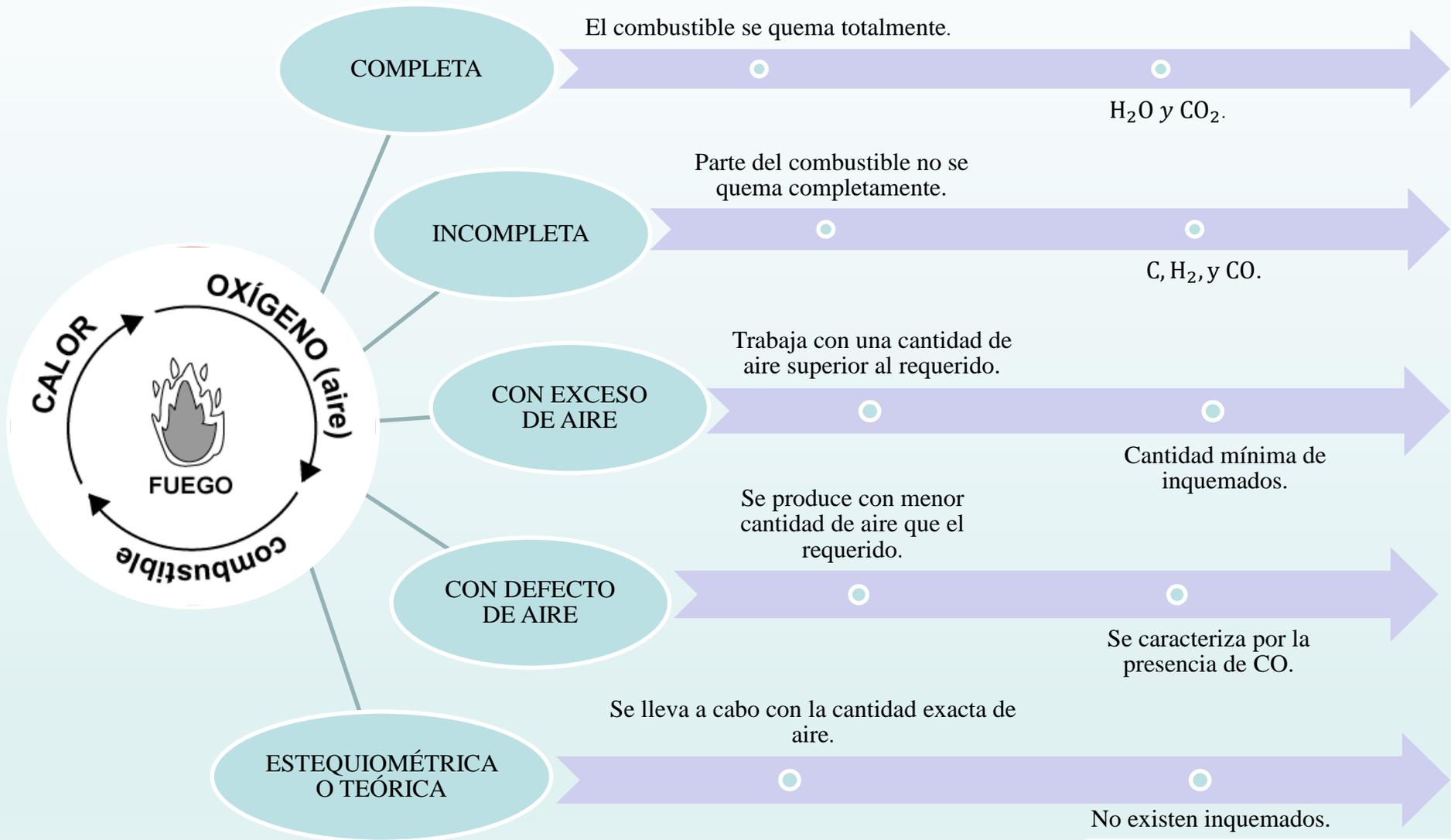


Los quemadores son máquinas térmicas que permiten realizar la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada y regulable.

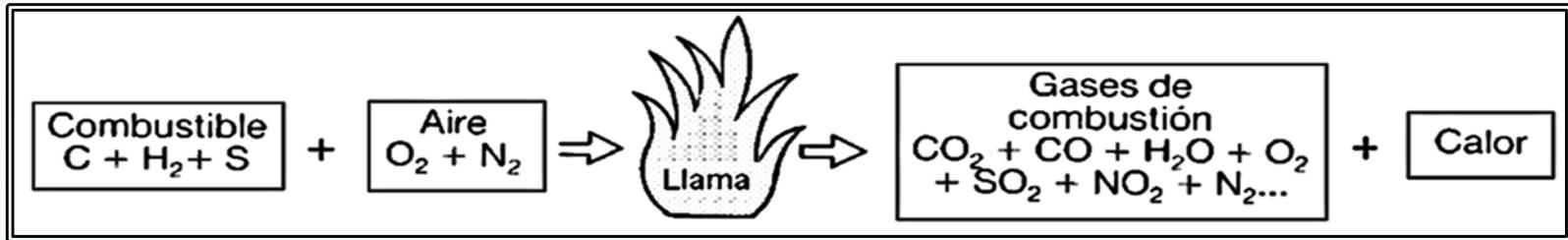
- Aportar combustible a la cámara de combustión en condiciones de ser quemado.
- Aportar el comburente (aire) a la cámara de combustión.
- Mezclar íntimamente el aire y el combustible.
- Encender y quemar la mezcla.
- Desalojar los productos de la combustión.

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

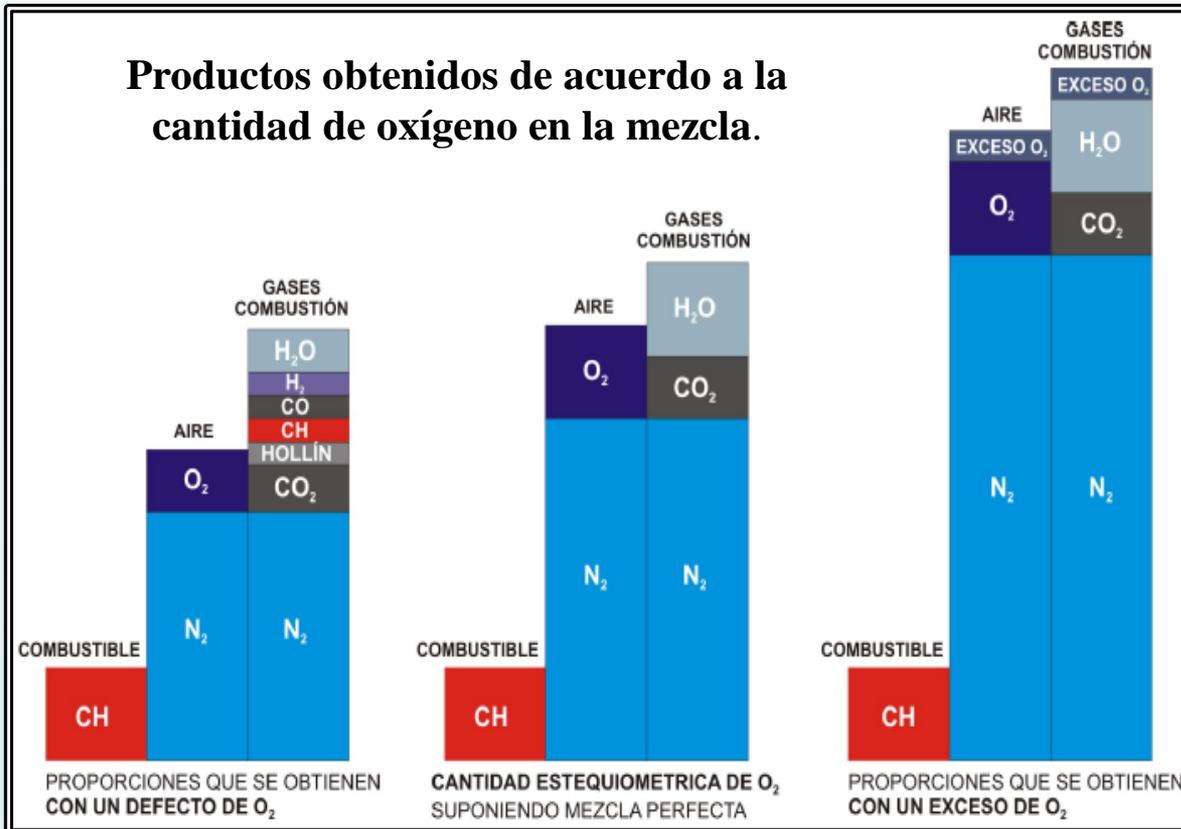
# TIPOS DE COMBUSTIÓN



# COMBUSTIÓN Y SUS PRODUCTOS



Productos obtenidos de acuerdo a la cantidad de oxígeno en la mezcla.



# MONÓXIDO DE CARBONO



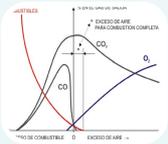
El monóxido de carbono representado como CO es un gas incoloro, sin olor ni sabor, no irritante que se produce de la combustión incompleta.

Tóxico

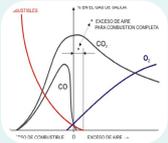
Nivel de CO (ppm)	Tiempo de exposición	Efecto fisiológico
200	3 horas	Dolor de cabeza, irritabilidad, fatiga, visión borrosa.
600	1 hora	
500	1 hora	
1000	30 minutos	Mareos, zumbido de oídos, náuseas, palpitaciones, embotamiento.
1500	1 hora	Peligro para la vida.
4000	-	Colapso, inconciencia, muerte.

# CONTROL POR CORRECCIÓN DE MEDIDA

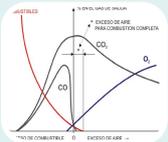
El control por corrección de medida se refiere a medir uno de los gases producidos por la combustión y con ello realizar el control de la mezcla aire-combustible.



Este control se realizará midiendo la concentración de CO en los gases combustionados, se puede mantener un rendimiento máximo del quemador cuando el CO se encuentre entre 100 y 200 ppm.

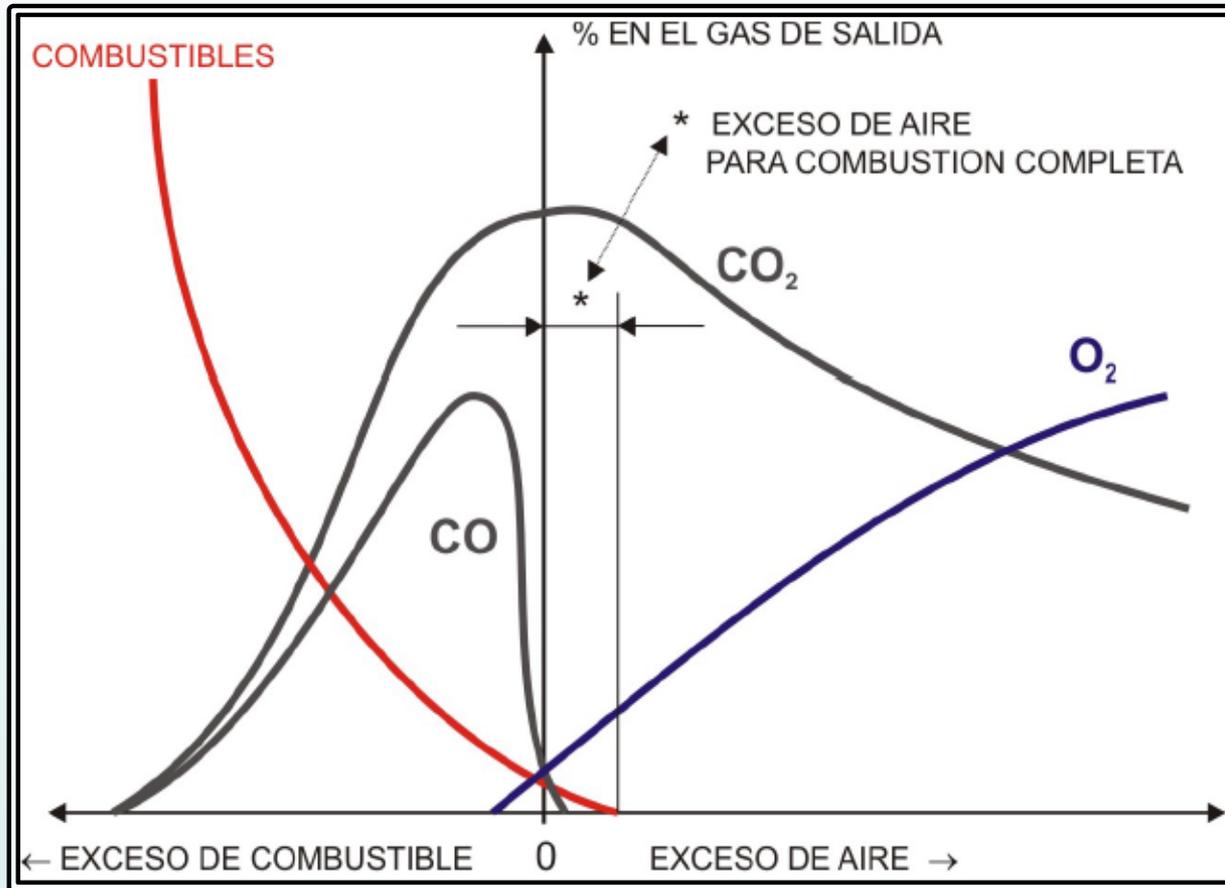


El combustible será constante en la mezcla, el control se lo llevara a cabo en la admisión de aire del quemador.

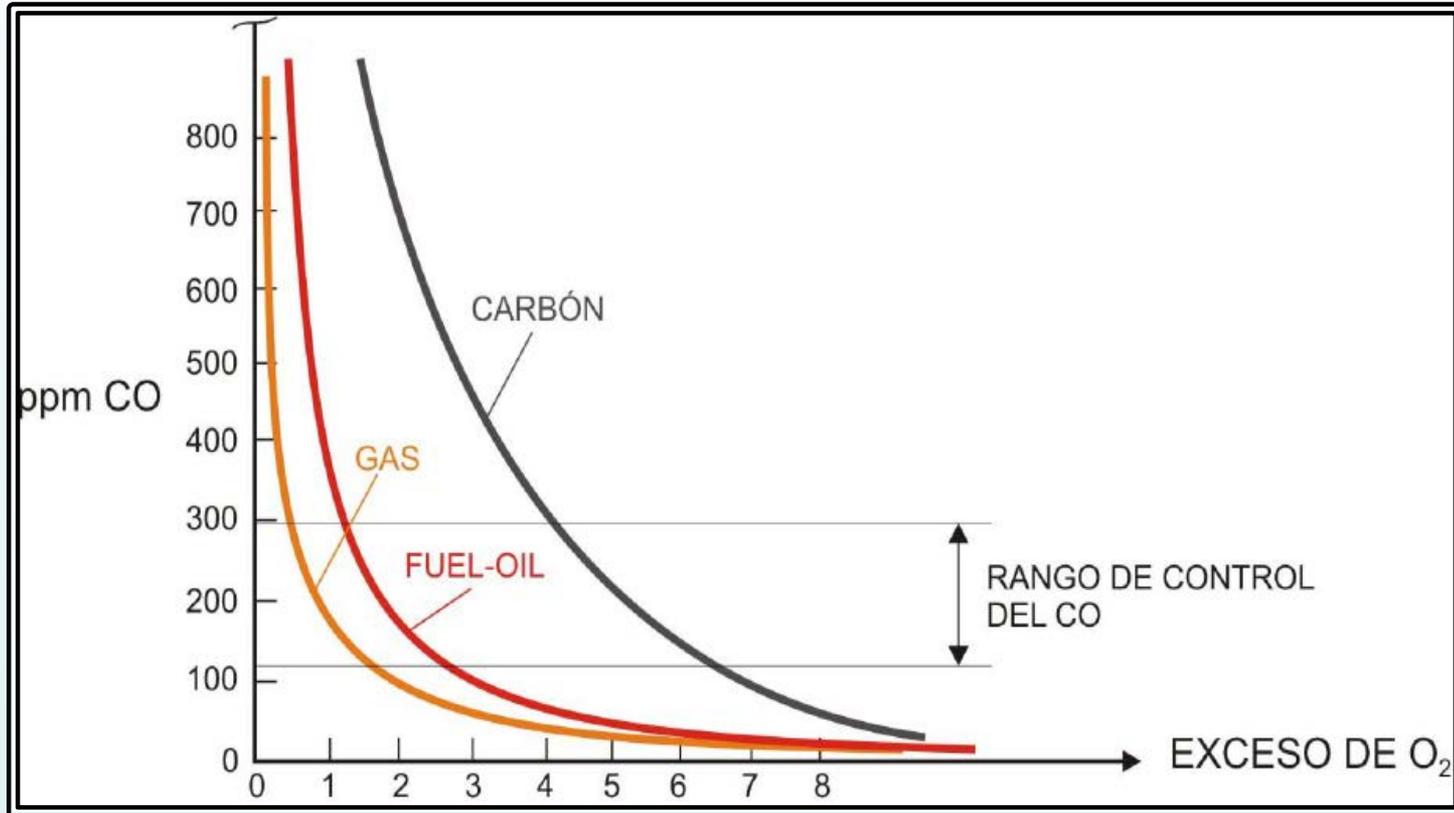


El CO es un indicador muy sensitivo de un quemador mal ajustado, si su concentración sube hasta 1000 ppm esto es una indicación fiable de condición de trabajo insegura.

# CONTROL POR CORRECCIÓN DE MEDIDA

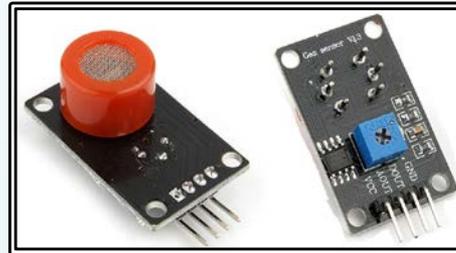


# CONTROL POR CORRECCIÓN DE MEDIDA

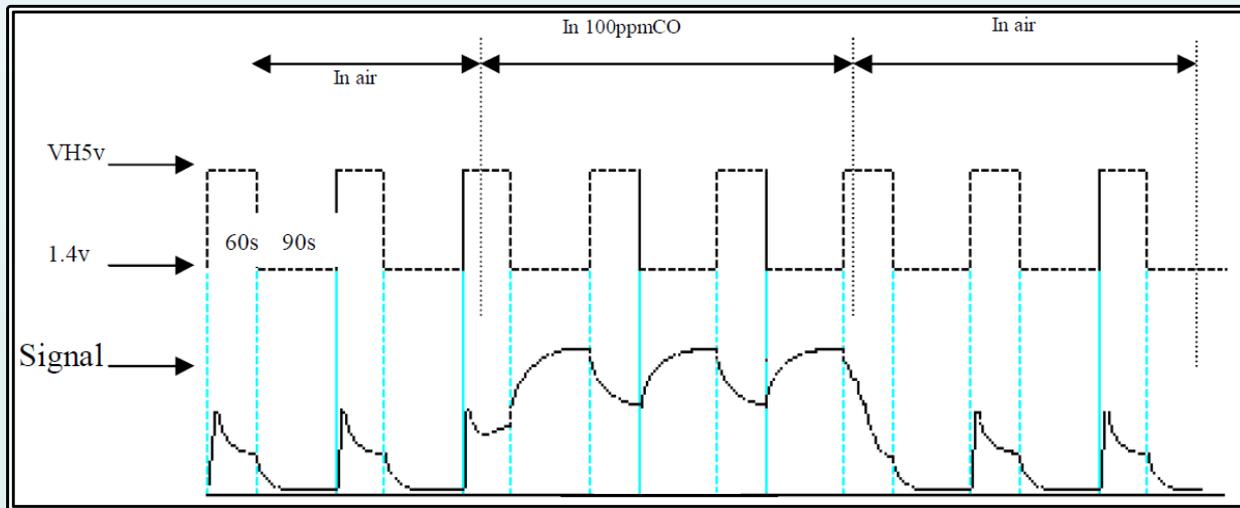


# SENSOR DE CO

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.



Principio de funcionamiento del MQ-7.



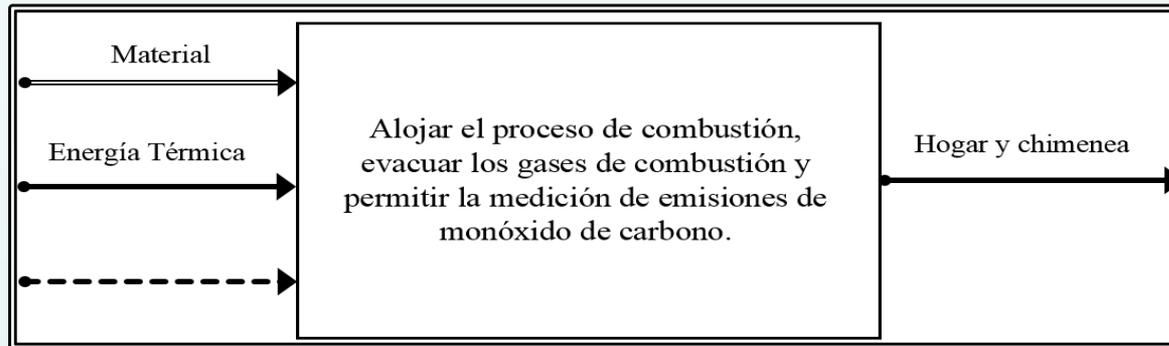
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL 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 $\Omega$ ~ 20K $\Omega$
Definición de pines	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pin 1: +Vcc</li><li>• Pin 2: Aout</li><li>• Pin 3: Dout</li><li>• Pin 4: Gnd</li></ul>
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~50°C

# DISEÑO MECÁNICO

El prototipo no realizará ningún proceso en especial. La función específica del hogar y la chimenea es asegurar que los gases de combustión se concentren y sean evacuados por la chimenea. También se requiere de una estructura base que soporte el prototipo.

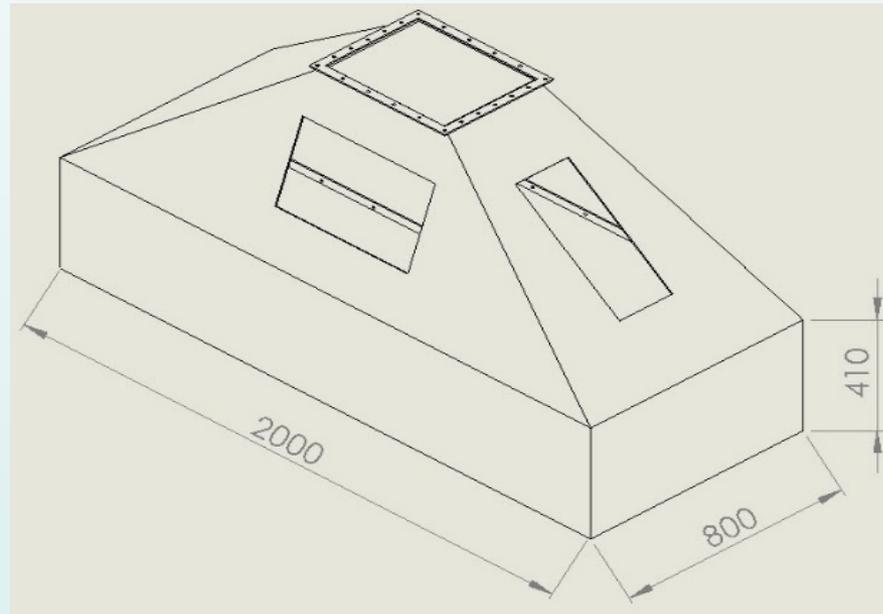


Solución para la construcción del hogar, la chimenea y la estructura base.

<b>Soporte del hogar</b>	Estructura con perfiles
<b>Soporte del quemador</b>	Estructura con perfiles
<b>Hogar de combustión</b>	Octaedro con extremo plano
<b>Sistema de sujeción</b>	Pernos
<b>Chimenea</b>	Ducto cuadrado

# DIMENSIONAMIENTO DEL HOGAR

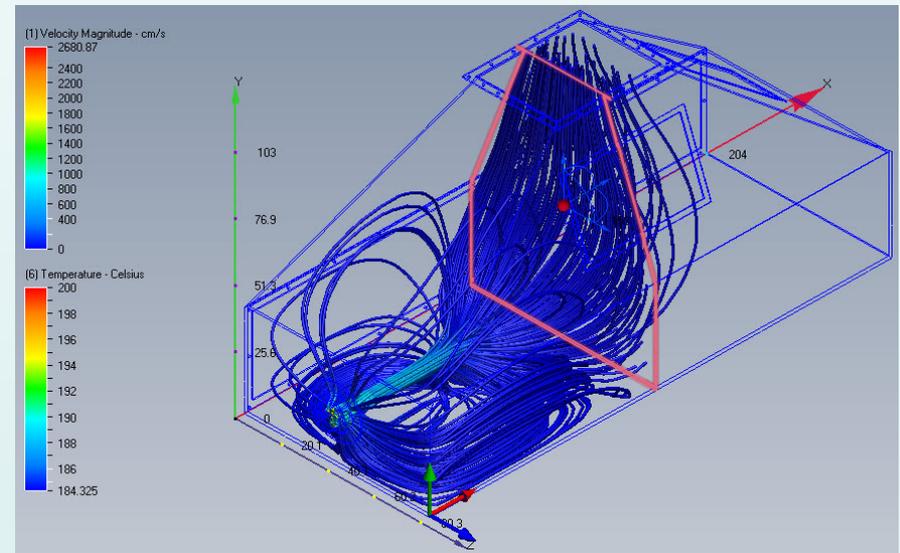
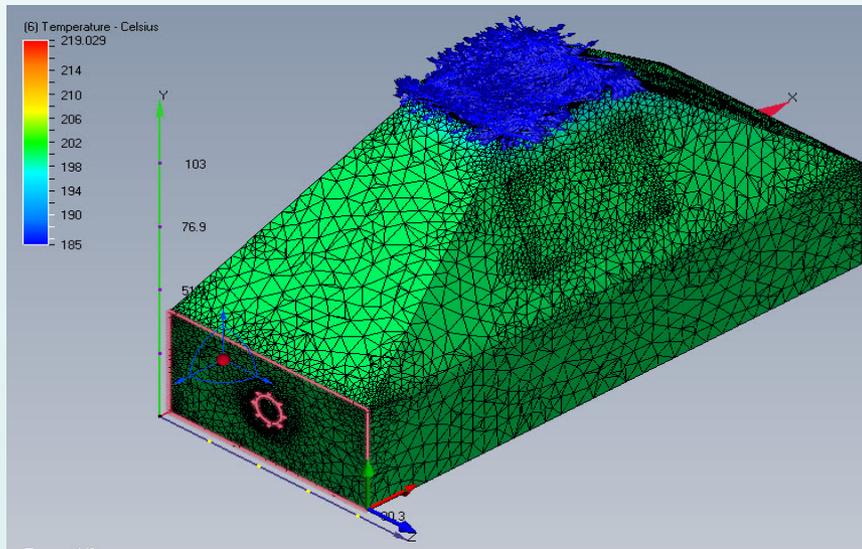
El objetivo del hogar es acumular los gases y soportar la temperatura proporcionada por el quemador. El presente proyecto requiere para el diseño del hogar de combustión la estimación de las dimensiones del mismo con fundamento en las características del quemador en cuanto a la longitud de llama máxima que puede lograr.



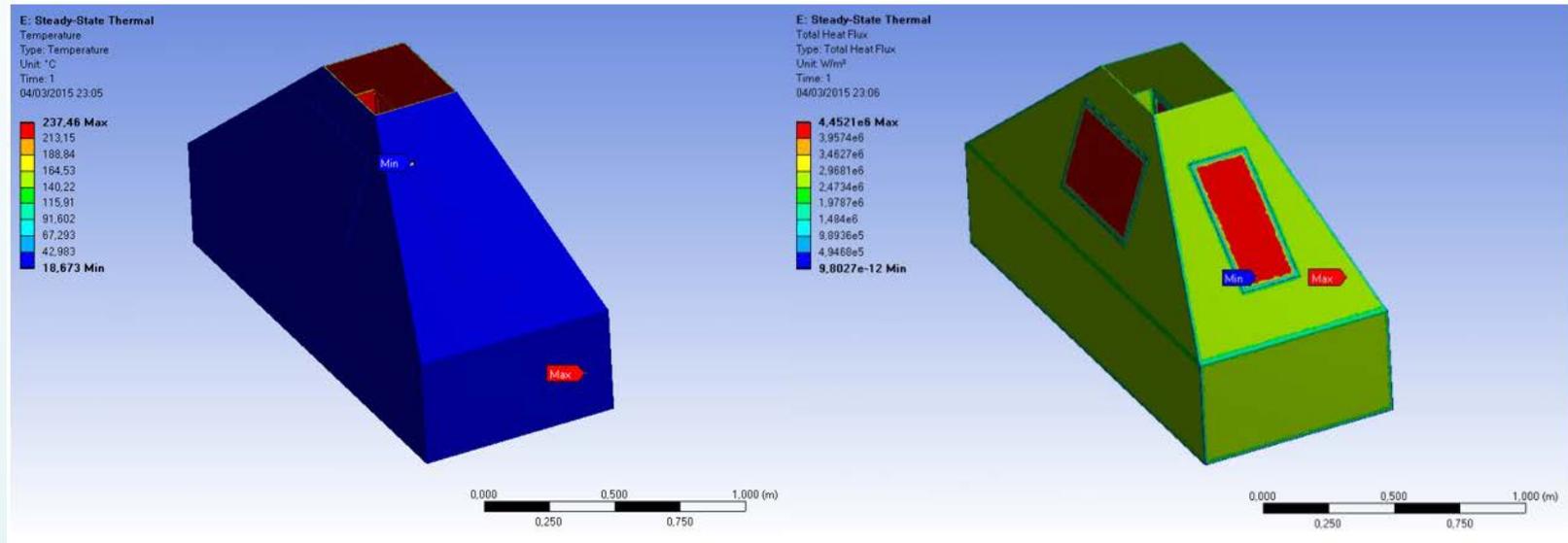
# SIMULACIÓN DE ESTADO TÉRMICO DEL HOGAR

Para poder realizar la simulación en el ANSYS se necesita los parámetros siguientes:

- Temperatura de diseño del hogar:  $200^{\circ}\text{C}$
- Longitud de llama: aproximadamente 1 m.
- Temperatura a la salida de la chimenea: menor a los  $50^{\circ}\text{C}$ .



# SIMULACIÓN DE ESTADO TÉRMICO DEL HOGAR



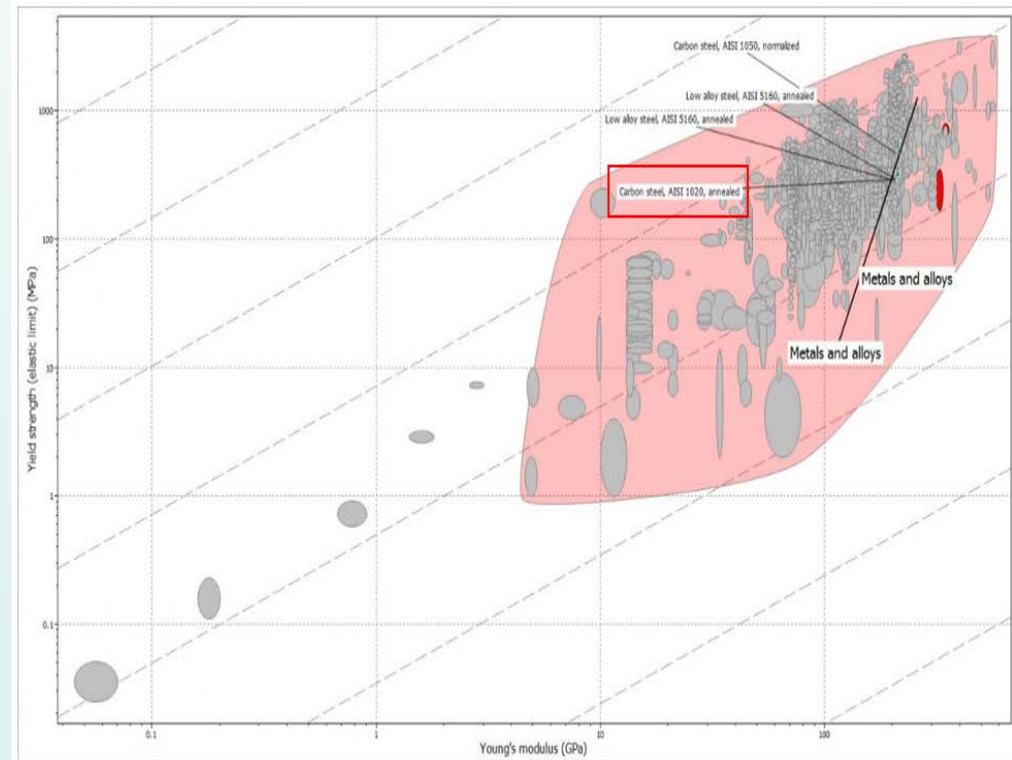
Mediante el estudio de estado térmico se ha determinado que el factor de seguridad del hogar de combustión para la carga de 200°C es mayor a quince, por lo cual se acepta el diseño, pese a existir un elevado valor de factor de seguridad en virtud que el quemador puede cambiar sus parámetros de combustión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

# DETERMINACIÓN DEL MATERIAL PARA EL HOGAR

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

Características que debe cumplir el material del cual se constituya el hogar de combustión:

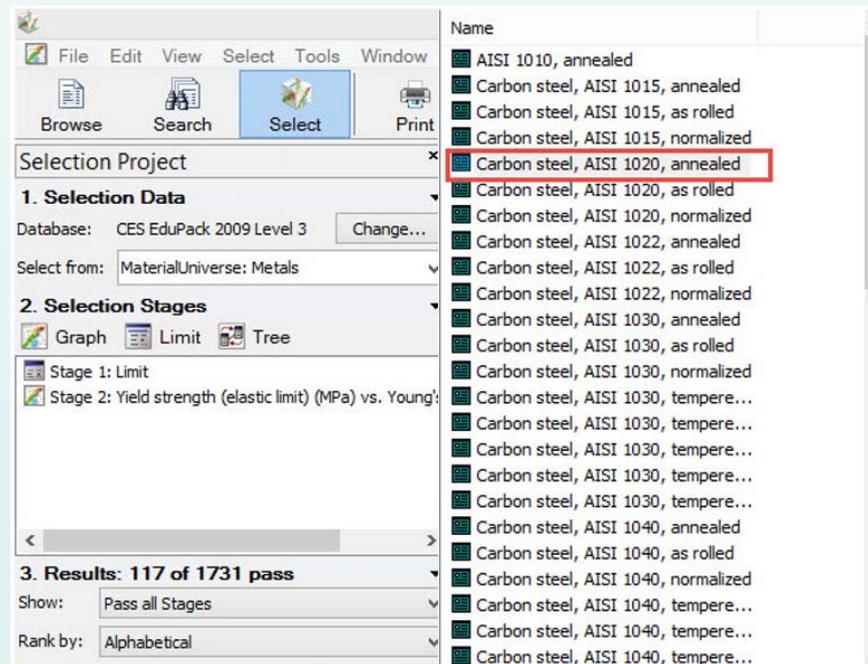
- Resistente a efectos térmicos
- Liviano
- Bajo Costo
- Resistente estructuralmente.



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

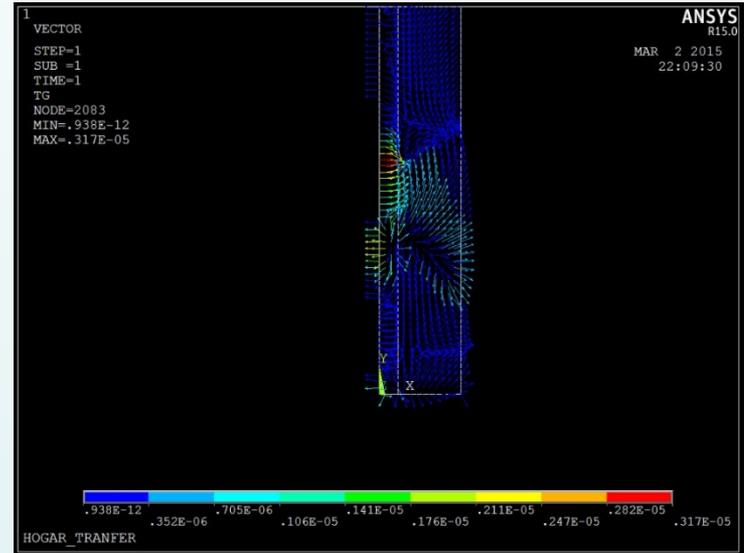
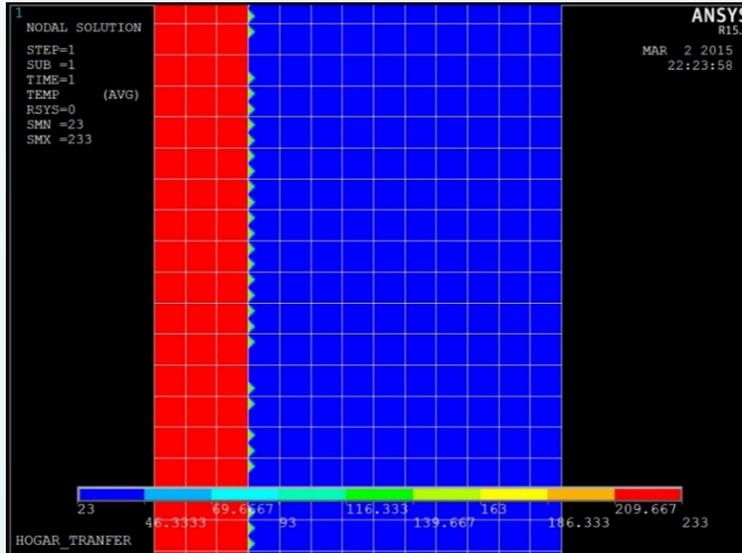
# DETERMINACIÓN DEL MATERIAL PARA EL HOGAR

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 laticungueño. Resulta ser el **AISI 1020** o **ASTM A36** el material que se ha seleccionado para el hogar de combustión.



# AISLAMIENTO DE LA PARED DEL HOGAR

Se ha graficado los dos materiales que intervienen en la construcción de la pared en este caso el acero ASTM A36 y la lana de vidrio.

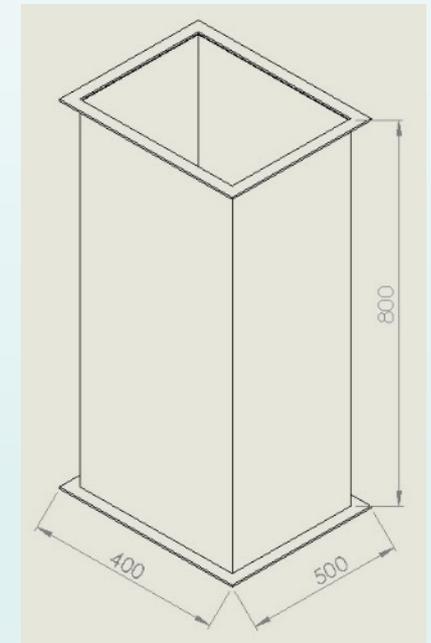
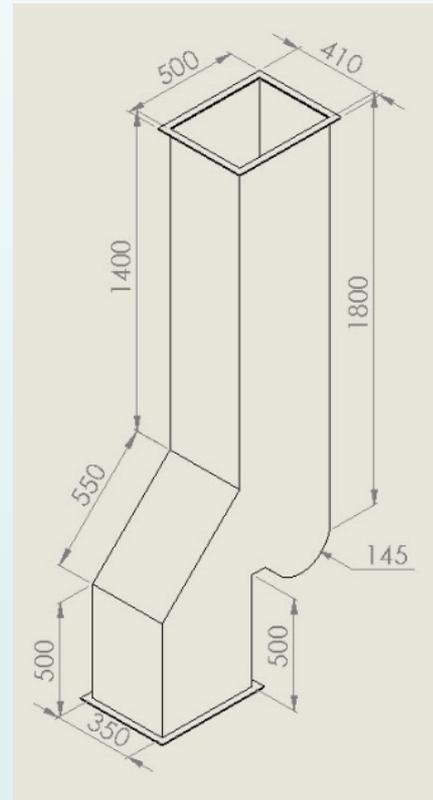
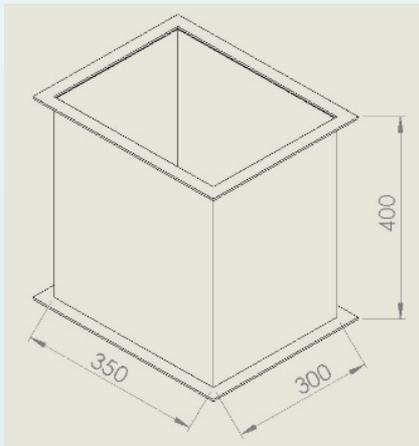


La temperatura al interior del hogar es de 233°C, la transferencia de calor en la pared se sucede y nos da un resultado a la salida de la pared donde está la fibra de vidrio de 23°C

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.

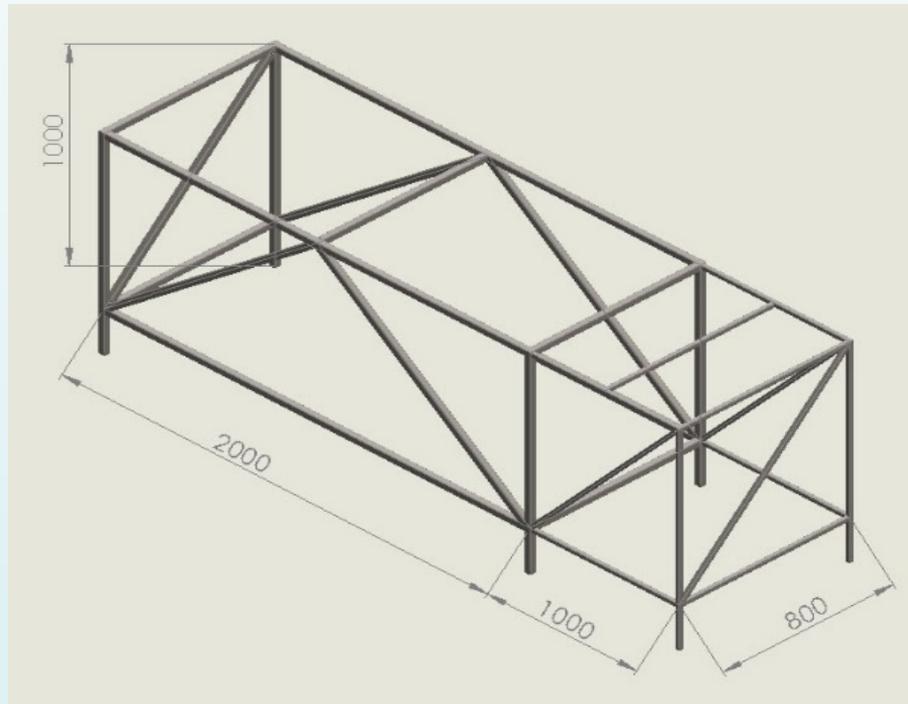
# DIMENCIONAMIENTO DE LA CHIMENEA

El objetivo de la chimenea es facilitar y direccionar la salida de los gases de combustión. La temperatura de los gases a la salida de la chimenea dependerá en gran magnitud a altura y sección de la chimenea.



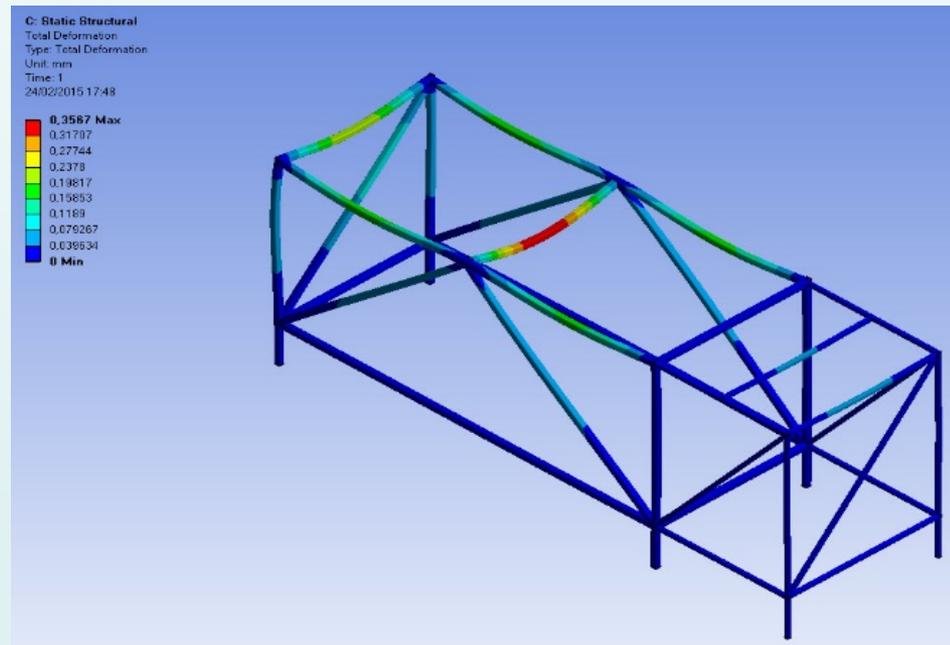
# ESTRUCTURA BASE

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 ha procedido a realizar un modelo CAD basado con fundamento de ingeniería estructural.



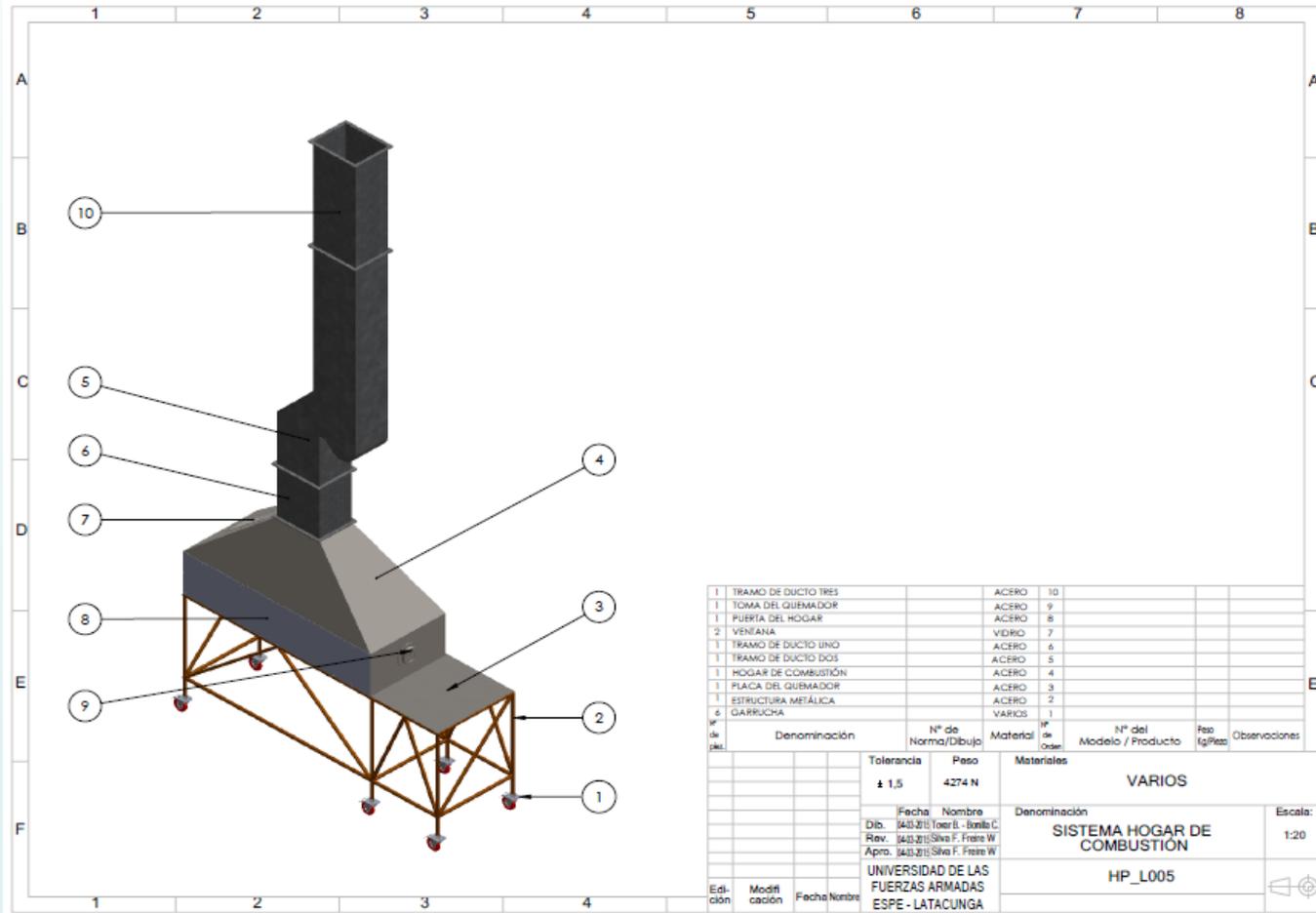
# ESTRUCTURA BASE

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.



# HOGAR, CHIMENEA Y ESTRUCTURA BASE

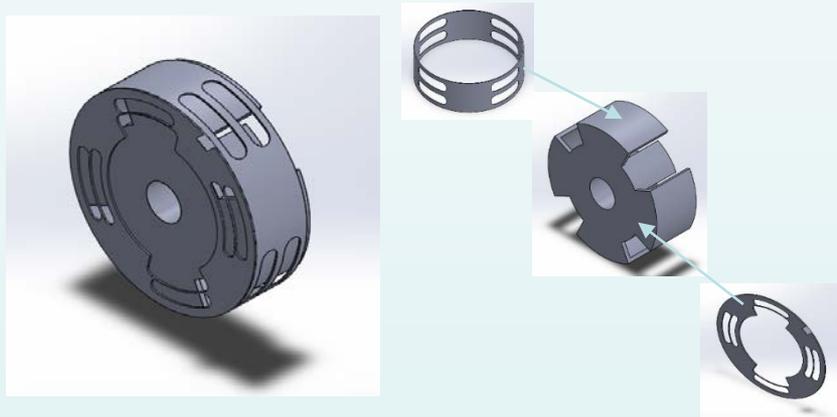
Se muestra como va a quedar terminada y unida la parte mecánica del prototipo.



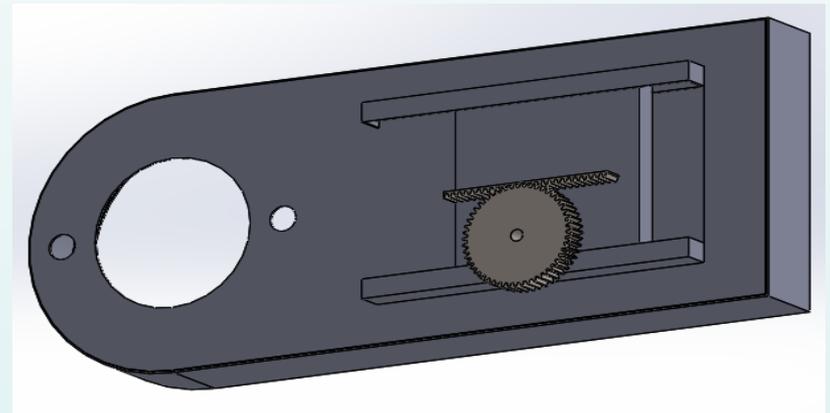
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# REDISEÑO 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 diseñó un sistema de admisión para facilitar el control de forma automática, manteniendo el área inicial de entrada de aire.



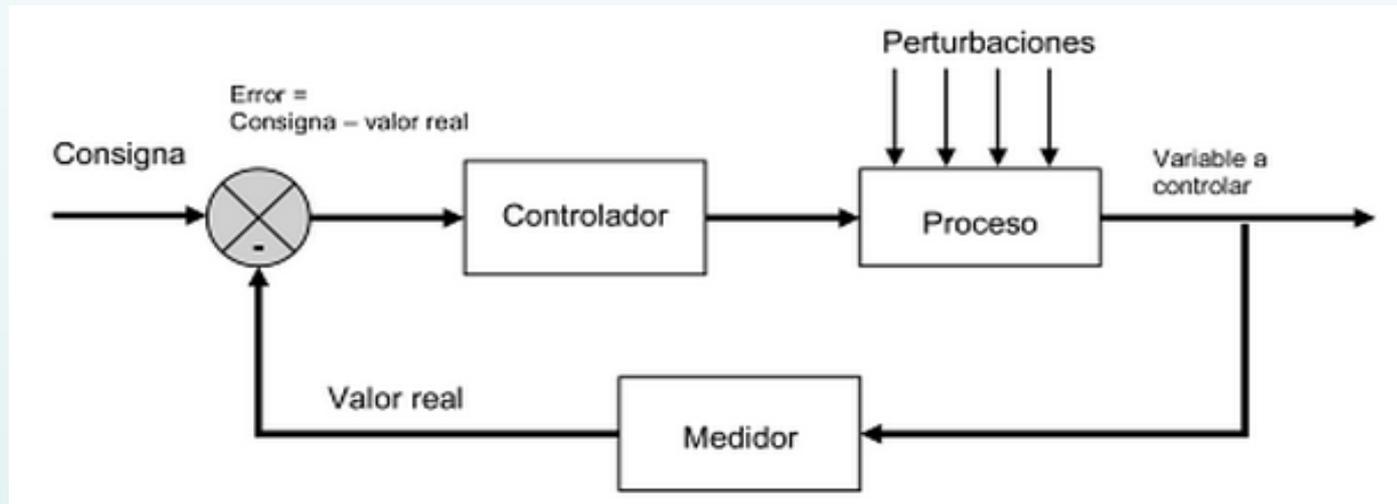
Admisión de aire original.



Nueva admisión de aire.

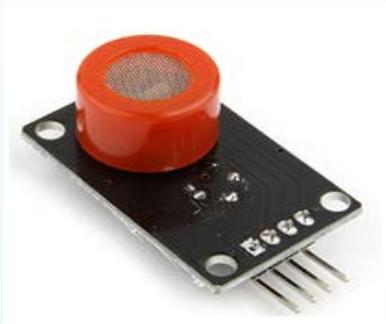
# DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

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.



Por medio de un sensor de CO, un controlador y un actuador, permitan variar automáticamente el caudal de aire que ingresa al quemador, con esto se logrará disminuir las emisiones de CO.

# SELECCIÓN DE EQUIPOS



## SENSOR MQ-7

- Voltaje de operación: 5v
- Corriente de operación: 150 mA
- Potencia de consumo: 350 mW
- Detección ppm: 20 – 2000 ppm
- Temperatura de operación: -20 – 50 °C



## SERVO MS-311

- Voltaje de operación: 4,8 - 6 v
- Torque máximo: 51 oz/in
- Velocidad máxima: 0,15 s/6° grados
- Giro: 180 grados
- Sistema de control: Analógico - Control PWM.
- Posición neutral: 1,5 ms
- Detección ppm: 20 – 2000 ppm
- Temperatura de operación: -20 – 60 °C
- Conectores:
  - Naranja: Señal de control.
  - Rojo: Vcc
  - Café: GND

# SELECCIÓN DE EQUIPOS



S7-1200  
CPU: 1214 DC/DC/DC

- Alimentación: 24 Vcc
- Entradas análogas de 0 – 10 v.
- Salidas digitales transistorizadas con PWM.
- Capacidad de generar PID.
- Comunicación HMI.



HMI KTP 400  
Basic mono PN

- Alimentación: 24 Vcc
- Comunicación: Ethernet
- Monocromática.
- 4 teclas para funciones.
- Touch táctil.

# SERVO MS-311

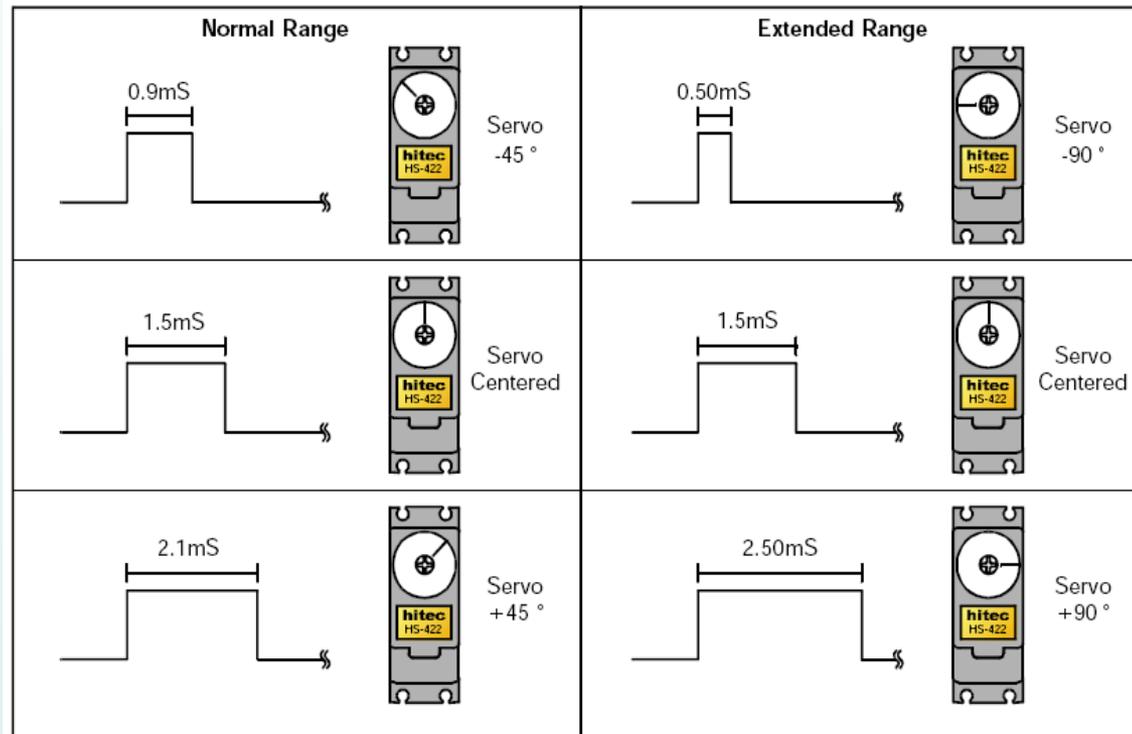
Un servomotor es un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ser controlado en posición. Es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación (generalmente de  $180^\circ$ ) y mantenerse estable en dicha posición.



Se asegura que el giro de 180 grados del servo representa los 80.369 mm correspondientes uno de los lados del cuadrado, donde esta centralizada la toma de aire.

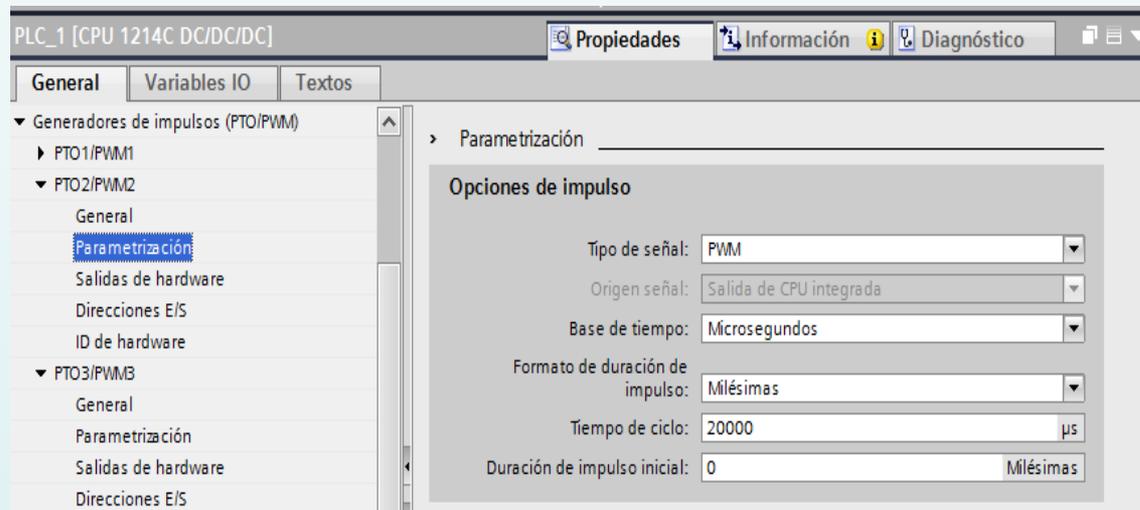
# SERVO MS-311

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).



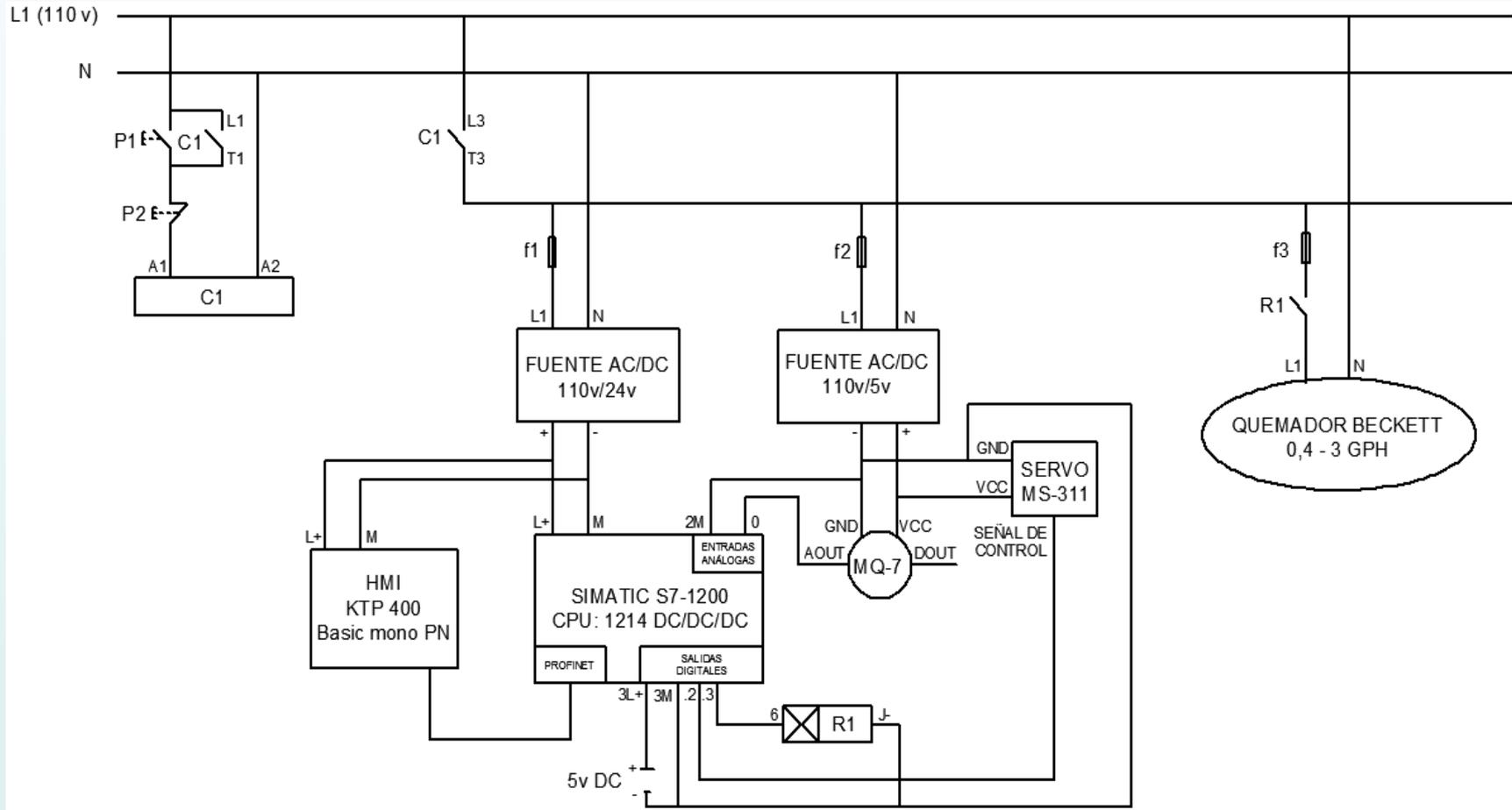
# SERVO MS-311

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.



# DIAGRAMA DE CONEXIÓN

Se presenta el diagrama general de conexiones.



# CONSTRUCCIÓN E IMPLEMANTACIÓN



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

# PRUEBAS Y RESULTADOS 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.



La temperatura deseada al final de la chimenea es de menos de 50 °C, pero la temperatura real al final de la chimenea es de aproximadamente 100 °C



# PRUEBAS Y RESULTADOS DEL HOGAR Y LA CHIMENEA

Se realizó un intercambiador de calor con dos pequeños radiadores, el fluido refrigerante es el agua, para subir y recircular el fluido se implementó un sistema con una bomba y conductos como se muestra.



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.



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

# PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA NUEVA ADMISIÓN DE AIRE CON EL SERVO

El servomotor está ubicado en la nueva admisión de aire como se muestra, 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 abrir o cerrar la compuerta.



El servomotor es el indicado para realizar el trabajo que se necesita, su torque es suficiente para mover la compuerta, y el control se lo logró hacer de la mejor manera.

# PRUEBAS Y RESULTADOS DEL MQ-7 MÓDULO GAS SENSOR V1.3



# PRUEBAS Y RESULTADOS DEL MQ-7 MÓDULO GAS SENSOR V1.3



Lectura de emisión de CO aproximadamente 5 ppm.



Lectura de emisión de CO aproximadamente 12 ppm.

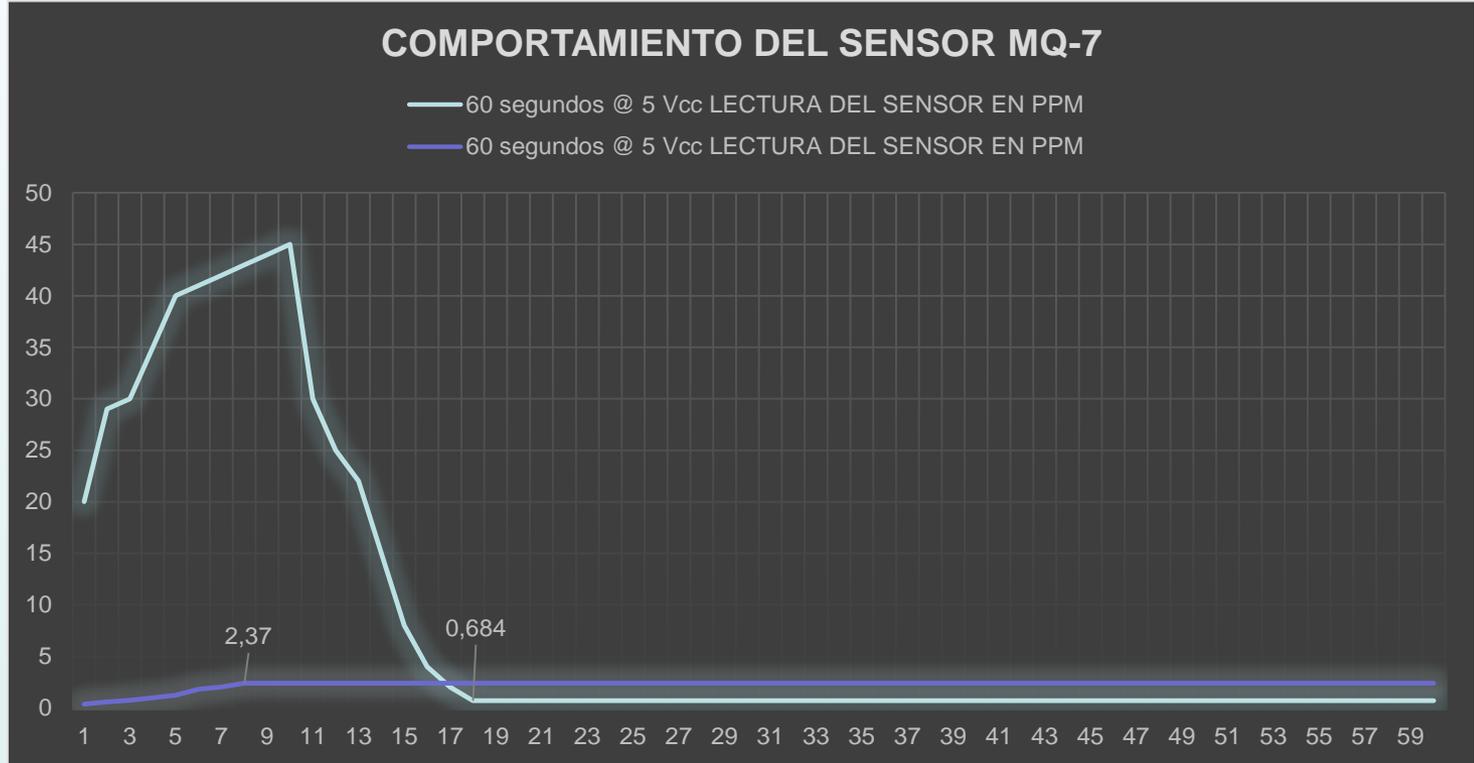
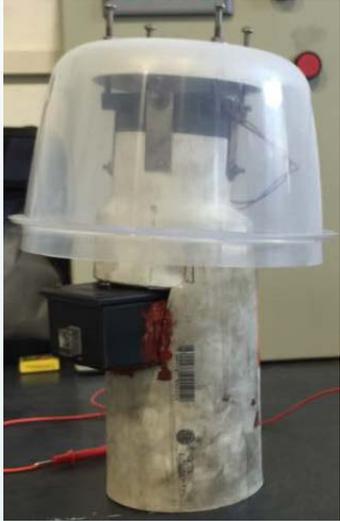


Lectura de emisión de CO de acuerdo a la proximidad de la fosforera apagada hacia el sensor, de cerca supera las 1000 ppm.

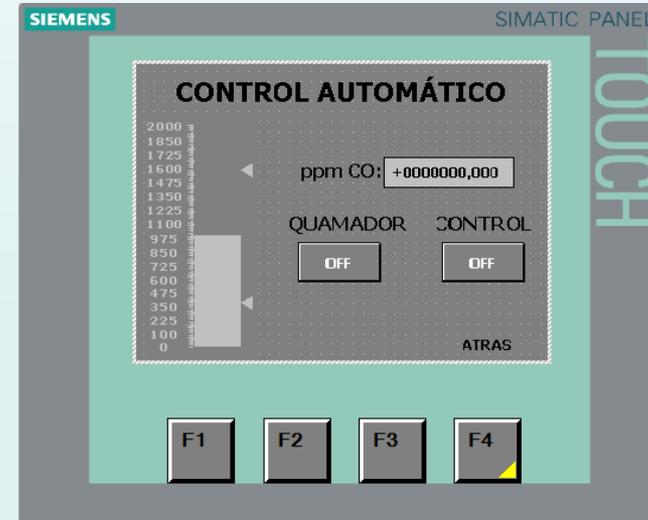
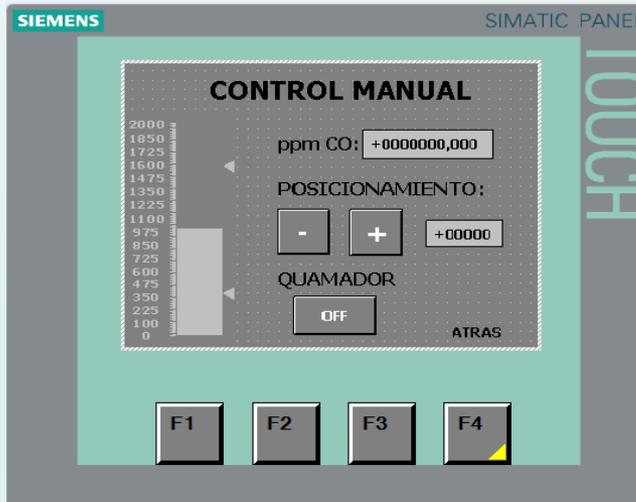
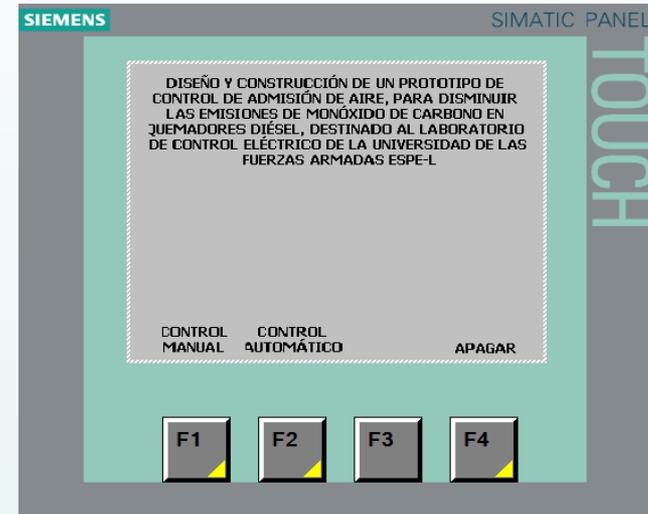


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# PRUEBAS Y RESULTADOS DEL MQ-7 MÓDULO GAS SENSOR V1.3



# PANTALLA HMI - ESTRUCTURA



# CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un hogar y una chimenea para almacenar y direccionar los gases, debido a que el sensor, para realizar una medición correcta, necesita que los gases lleguen directamente a la sonda del mismo a una temperatura que no supere los 50 grados centígrados. Al realizar las pruebas se determinó que la temperatura a la salida de la chimenea bordea los 100 grados centígrados, por tal razón se optó por implementar un intercambiador de calor que garantiza la temperatura óptima para el funcionamiento adecuado del sensor.
- El diseño de la admisión de aire original del quemador, no brinda las facilidades necesarias para su automatización, por lo que se rediseñó y construyó un nuevo sistema de admisión que centraliza la toma de aire, facilitando el control de ingreso del fluido mediante la apertura o cierre de la compuerta.

# CONCLUSIONES

- Cumpliendo las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento del sensor dadas en las especificaciones técnicas, se realizaron pruebas con diferentes fuentes emisoras de CO, como son: cigarrillo, papel y fosforera; obteniendo en estas, las mediciones esperadas. Partiendo de esto se implementó el MQ-7 en el prototipo, para verificar si las emisiones de monóxido de carbono disminuyen a manera que ingrese mayor caudal de aire al quemador. Al no obtener lecturas correctas en varias pruebas, se determinó que el sensor MQ-7, no es apto para uso industrial, ya que al combustionar diésel no solamente se genera CO sino varios gases, y alguno de ellos como el  $SO_2$  afectan a la sensibilidad del sonda, de esta manera emitiendo mediciones erróneas.

# CONCLUSIONES

- Para el control automático de la admisión de aire del quemador se necesita un control por corrección de medida, el cual no se pudo efectuar debido a que las lecturas del sensor no son útiles. Con un PWM se logró controlar el posicionamiento del servomotor que mediante un sistema de piñón-cremallera transmite su movimiento hacia la compuerta, así permitiendo variar el flujo de ingreso de aire para la combustión.
- Por teoría se asegura que, mientras mayor es la cantidad de aire utilizada para la combustión menor será la concentración de CO en los gases generados, lo cual en el prototipo no se puede constatar cómo se desea debido lecturas erróneas del sensor, pero aun así existen formas de detectar que las emisiones se reducen, una de ellas observando el color del humo emanado hacia la atmosfera.

Gracias



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA