

**Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de  
Ingeniero Automotriz**

**Tema: Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y  
DUAL – FUEL de hidrógeno, mediante la construcción de un equipo reactor  
para la generación de hidrógeno para uso vehicular**

**Autores: Colcha Tuquerres, Jinson Wladimir  
Gonzalez Heras, Josue Abraham**

**Tutor: Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.**

**Latacunga, Agosto 2022**



# CONTENIDO

- 1 Antecedentes
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Justificación e importancia
- 4 Objetivos
- 5 Metodología
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones
- 8 Recomendaciones



# CONTENIDO

- 1 Antecedentes
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Justificación e importancia
- 4 Objetivos
- 5 Metodología
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones
- 8 Recomendaciones



# ANTECEDENTES

- La generación de hidrógeno para uso vehicular, difiere de una gran cantidad de métodos, sin embargo, el mas utilizado en la industria automotriz se basa en la electrolisis, el cual depende de la cantidad de corriente eléctrica suministrada.
- Considerando la electrolisis como principal proceso de obtención de hidrógeno, esta debe generar una transferencia de electrones de un soluto, el cual puede ser Hidróxido de sodio [NaOH], Hidróxido de potasio [KOH] o a su vez la utilización de Cloruro de sodio [NaCl].
- Actualmente, se considera la utilización de un generador de celda seca, ya que consta de varios elementos para facilitar la obtención de Oxi-Hidrógeno, dependiendo del régimen del motor, aumentara la cantidad electricidad suministrada para la generación de hidrógeno.



# CONTENIDO

- 1 Antecedentes
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Justificación e importancia
- 4 Objetivos
- 5 Metodología
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones
- 8 Recomendaciones



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hipótesis

¿La construcción del sistema de inyección BI – Fuel y Dual – Fuel de hidrogeno, generará la suficiente cantidad de hidrógeno para cumplir con el requerimiento del motor Otto y Diesel?

La generación de hidrógeno a partir de un proceso de electrolisis vinculada al régimen propio del motor

Combustión completa de los residuos de gasolina y diésel en M.C.I. Otto y Diesel respectivamente

Aumento del flujo de hidrógeno, considerando una mayor cantidad de corriente a un régimen mayor

**Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, mediante la construcción de un equipo reactor para la generación de hidrógeno para uso vehicular**

Búsqueda de combustibles alternos para optimizar los productos derivados del petróleo

Uso de hidrógeno para mejorar el proceso de combustión de los carburantes

Flujo de hidrógeno limitado para un régimen alto del motor

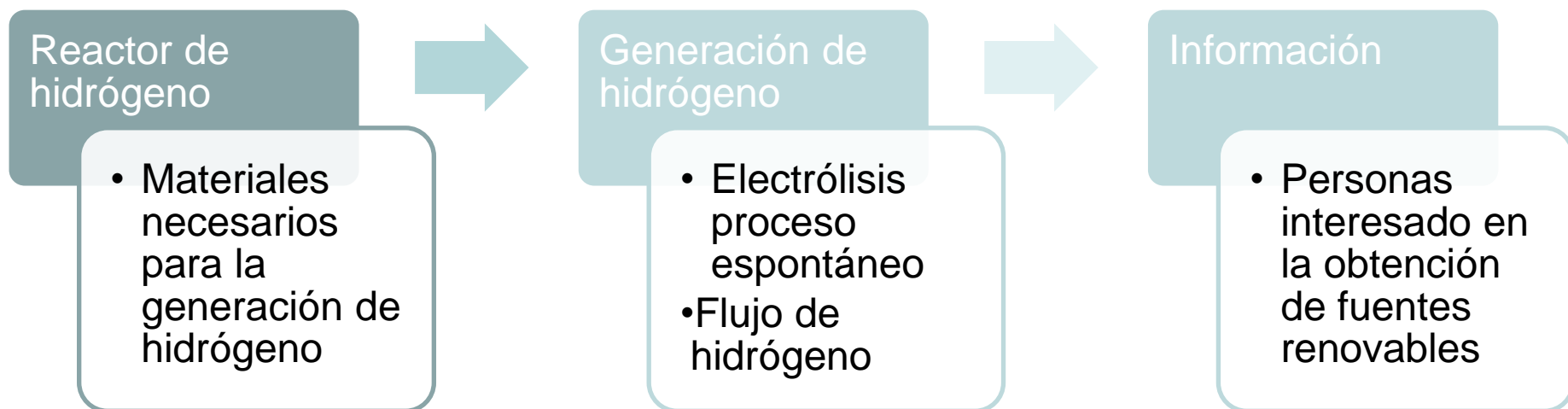


# CONTENIDO

- 1 Antecedentes
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Justificación e importancia
- 4 Objetivos
- 5 Metodología
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones
- 8 Recomendaciones



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA





# CONTENIDO

- 1 Antecedentes
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Justificación e importancia
- 4 **Objetivos**
- 5 Metodología
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones
- 8 Recomendaciones



# OBJETIVOS

## Objetivo General

- Investigar la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, mediante la construcción de un equipo reactor para la generación de hidrógeno para uso vehicular.

## Objetivos Específicos

- Investigar la fundamentación teórica científica necesaria de la generación de hidrógeno por electrólisis del agua en oxi-hidrógeno.
- Establecer una ubicación apropiada del reactor de hidrógeno dentro del habitáculo del motor, tomando en cuenta las dimensiones constructivas y entorno físico al que va estar sometido.
- Construir un reactor de hidrógeno por electrolisis del agua con el soluto adecuado para la división de las moléculas de hidrógeno y oxígeno.
- Implementar el sistema de inyección de hidrógeno por aspersion en motores de combustión interna.

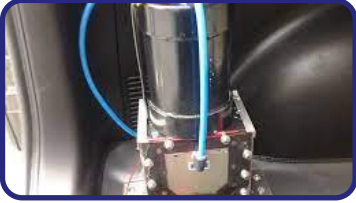


# CONTENIDO

- 1 Antecedentes
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Justificación e importancia
- 4 Objetivos
- 5 Metodología
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones
- 8 Recomendaciones



# METODOLOGÍA



## Determinación de los componentes

- Materiales del reactor de hidrógeno
- Materiales del burbujeador



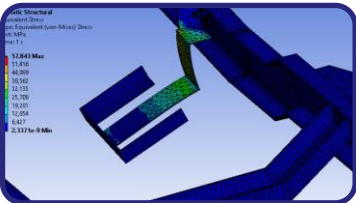
## Implementación del reactor de hidrógeno

- Montaje en el habitáculo del vehículo



## Medición del flujo de hidrógeno

- Cálculo del flujo teórico
- Medición mediante caudalímetro



## Análisis de resultados

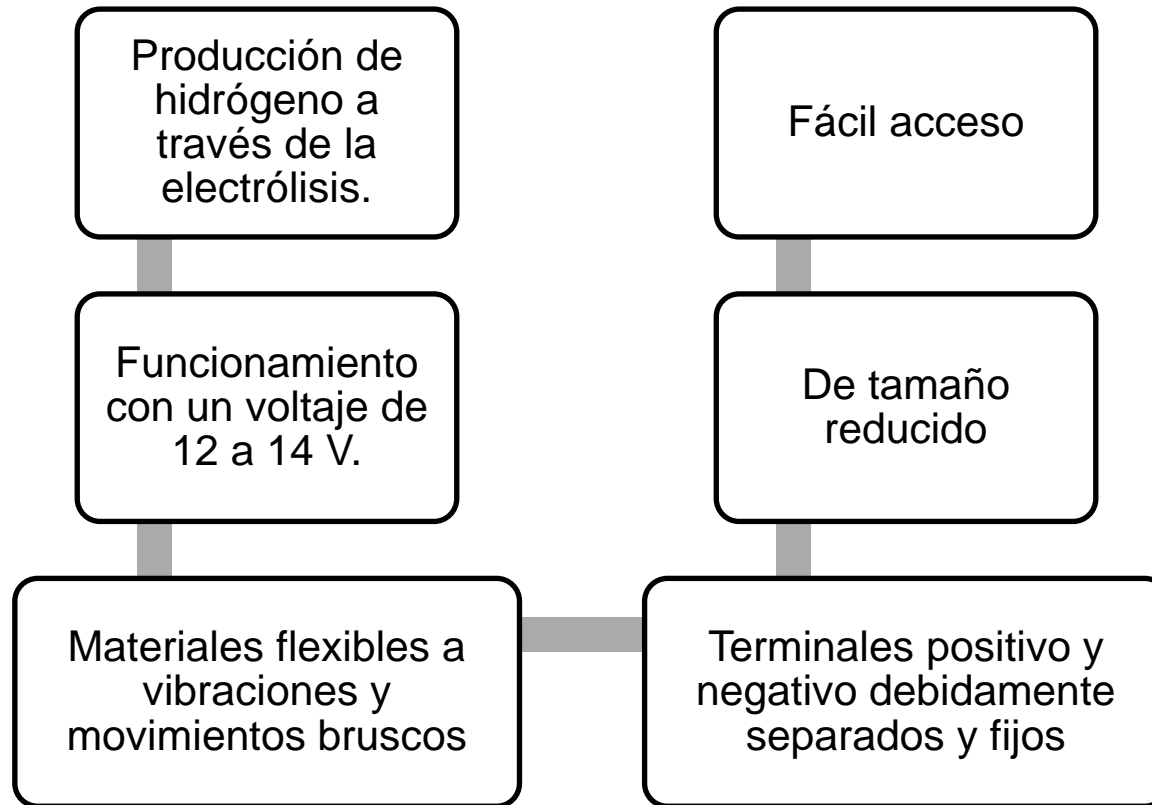
- Determinación de la deformación y estrés mecánico
- Obtención del factor de seguridad



# METODOLOGÍA

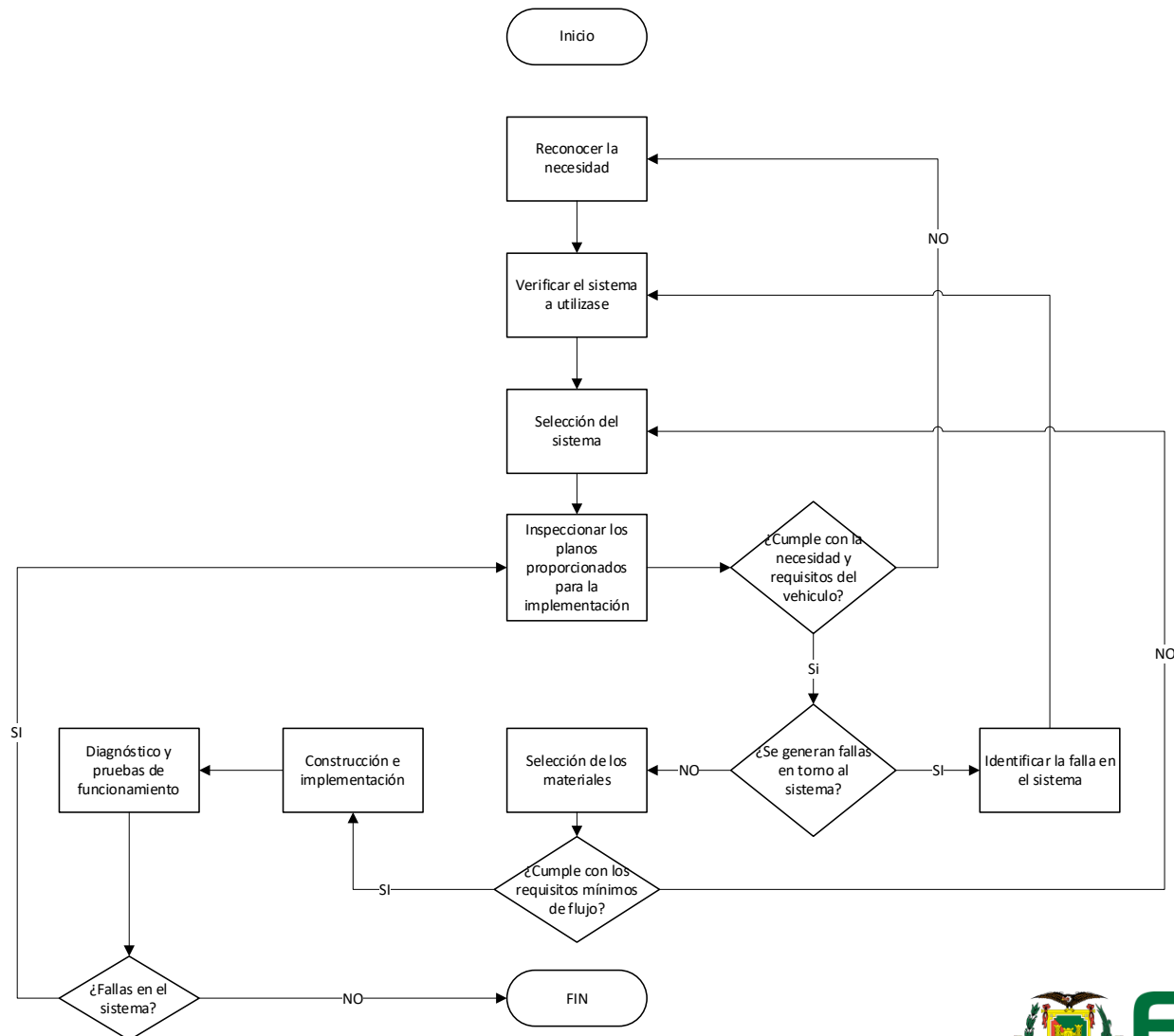
## Elección del reactor de hidrógeno

El reactor de hidrógeno se seleccionará acorde a la necesidad y el entorno en el cual va funcionar.



# METODOLOGÍA

## Elección del reactor de hidrógeno



# METODOLOGÍA

## Dimensionamiento del reactor de hidrógeno



Generador de hidrógeno

Ubicación del burbujeador

Componentes de la parte superior del generador

15 cm x 11 cm

160mm de altura x  
112,30mm de diámetro  
exterior x 70mm libres

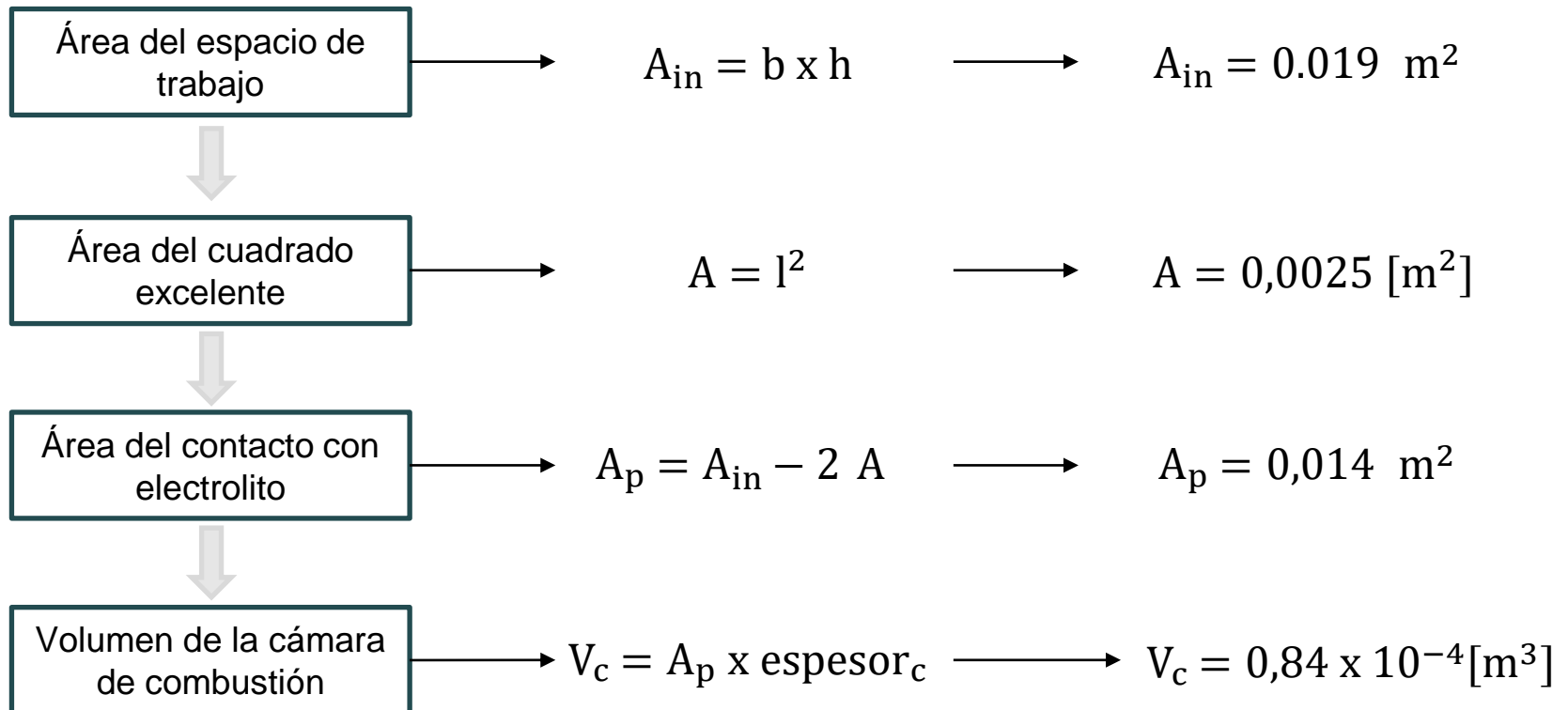


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# METODOLOGÍA

## Cálculo del volumen interno del generador

Se sigue el siguiente proceso

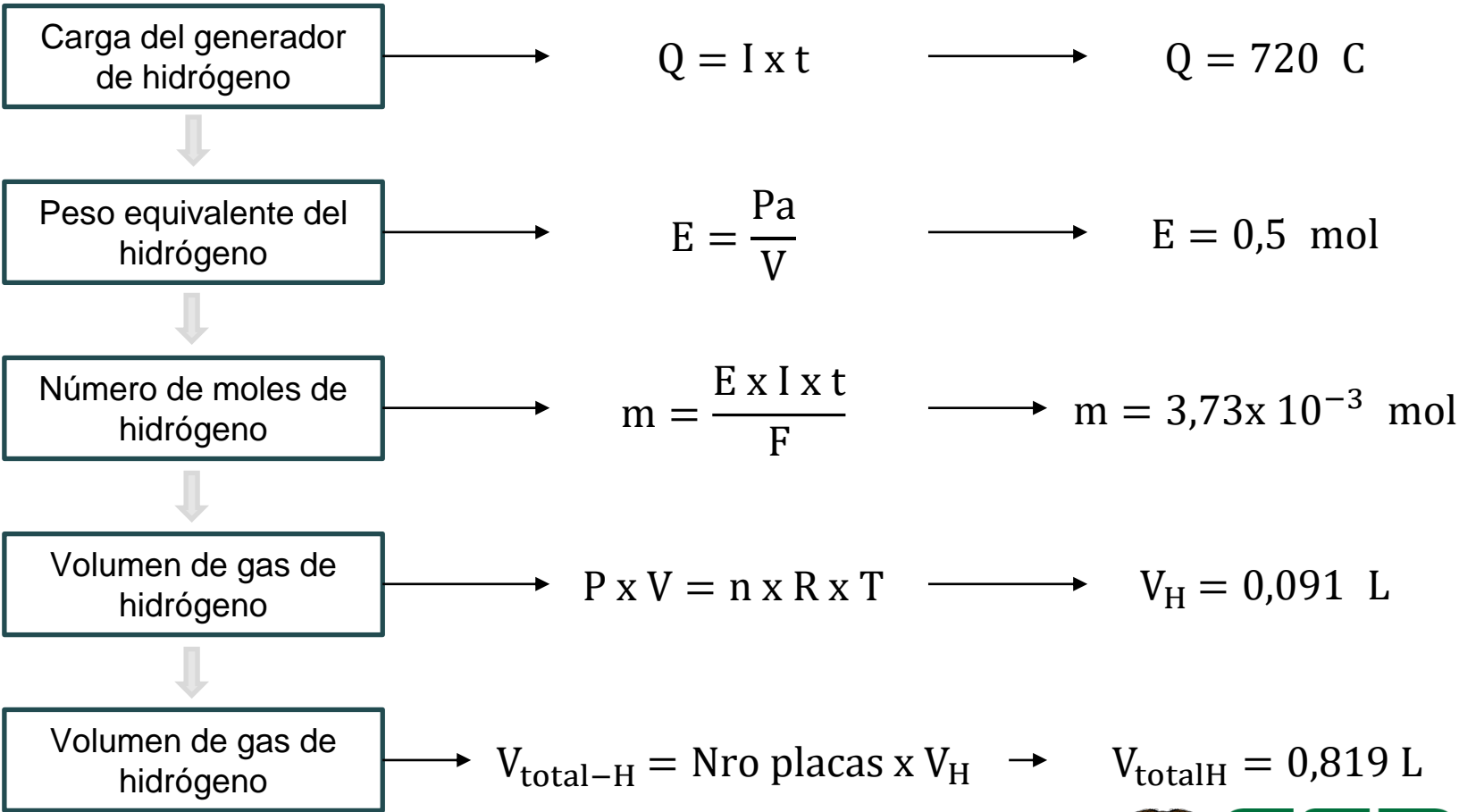




# METODOLOGÍA

## Cálculo del flujo de gas HHO

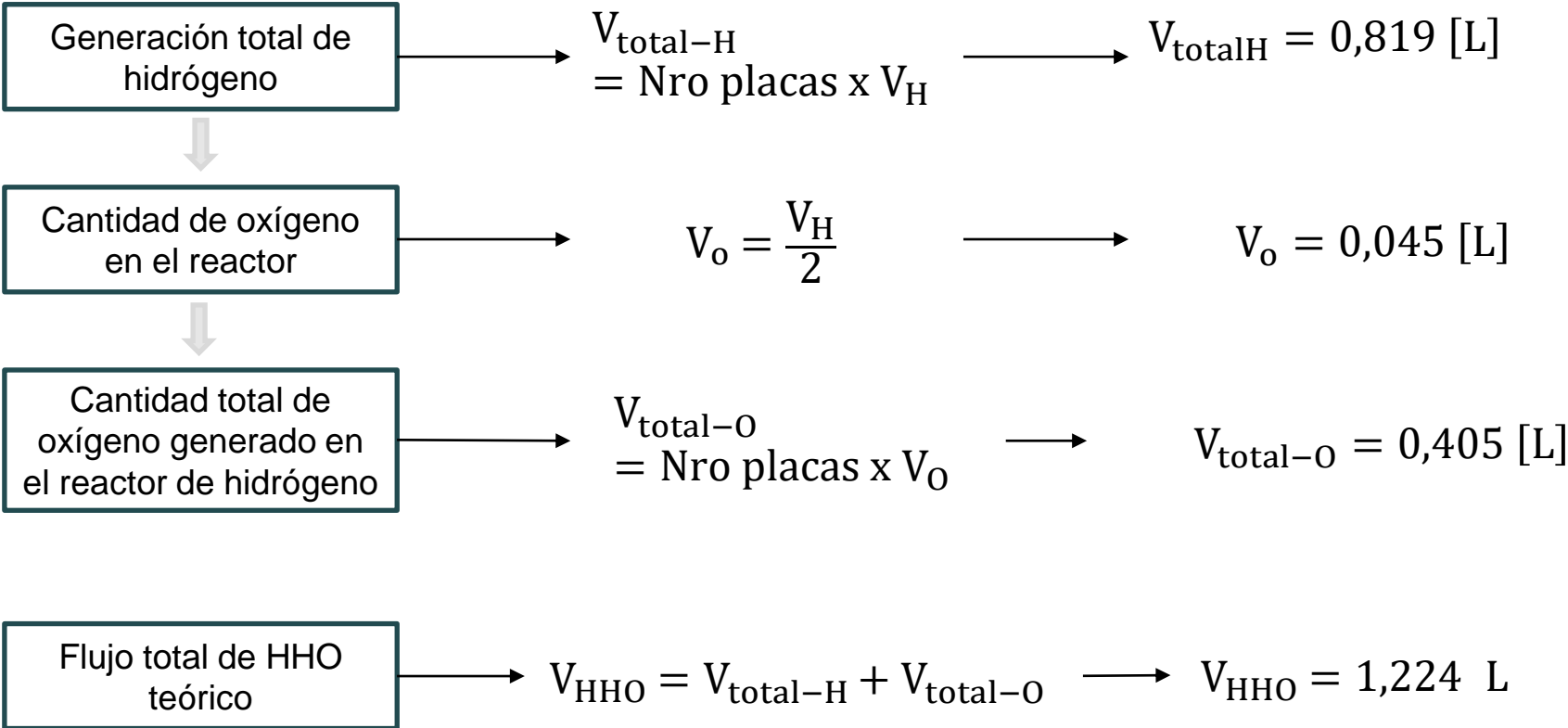
Se sigue el siguiente proceso



# METODOLOGÍA

## Cálculo del flujo de gas HHO

Se sigue el siguiente proceso



# METODOLOGÍA

## Implementación

Base metálicas reactor



Base metálica burbujeador



Montaje del burbujeador



Montaje del generador de hidrógeno



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

# METODOLOGÍA

## Implementación

Colocación mangueras reactor



Colocación mangueras burbujeador



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

# METODOLOGÍA

## Implementación

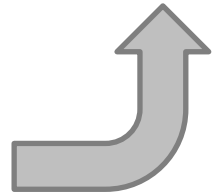
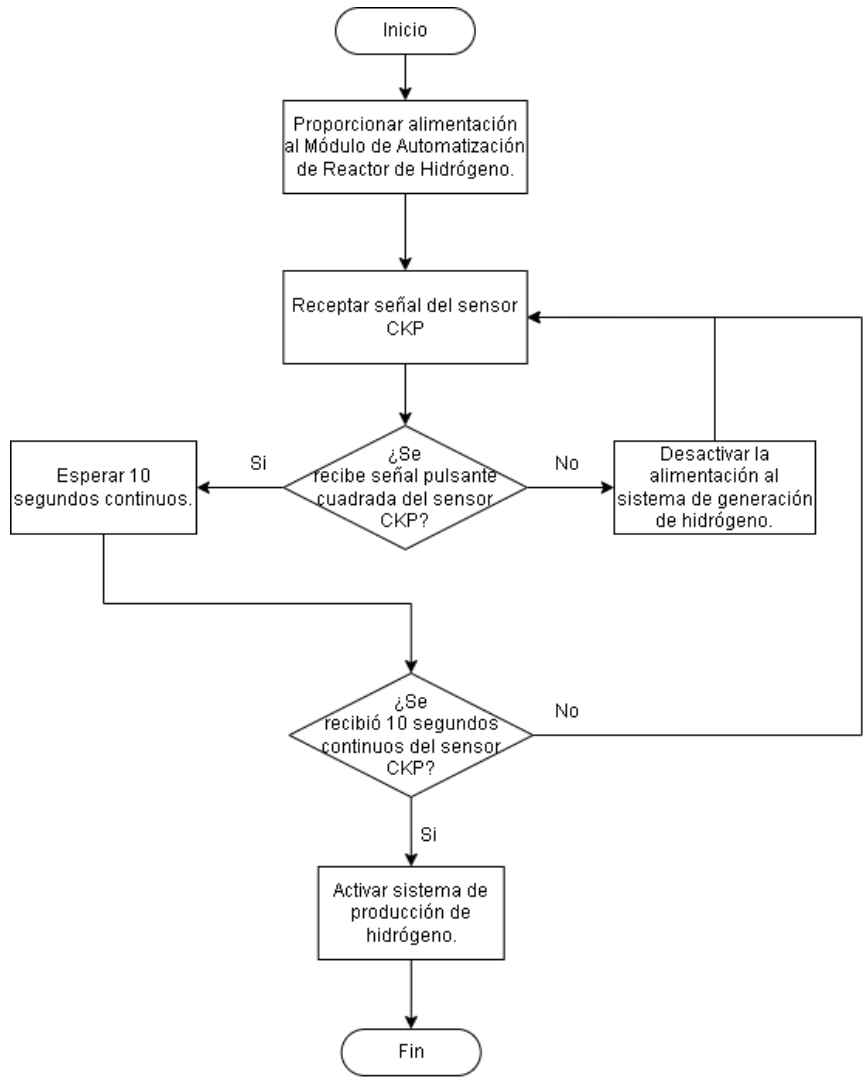
Conexión eléctrica



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

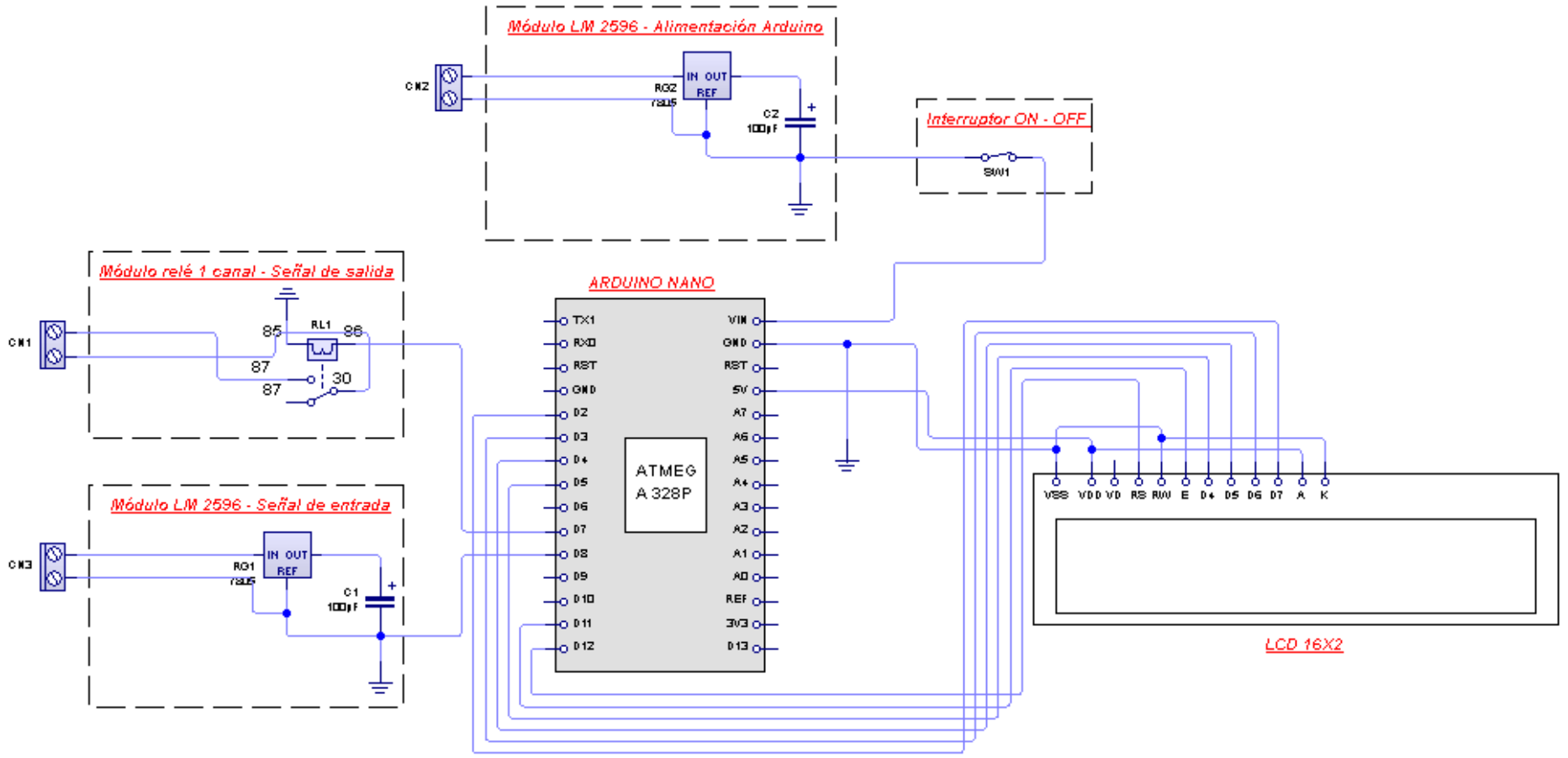
# METODOLOGÍA

## Módulo de automatización de reactor de hidrógeno



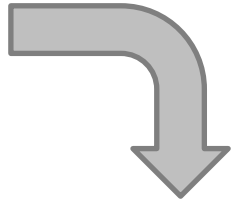
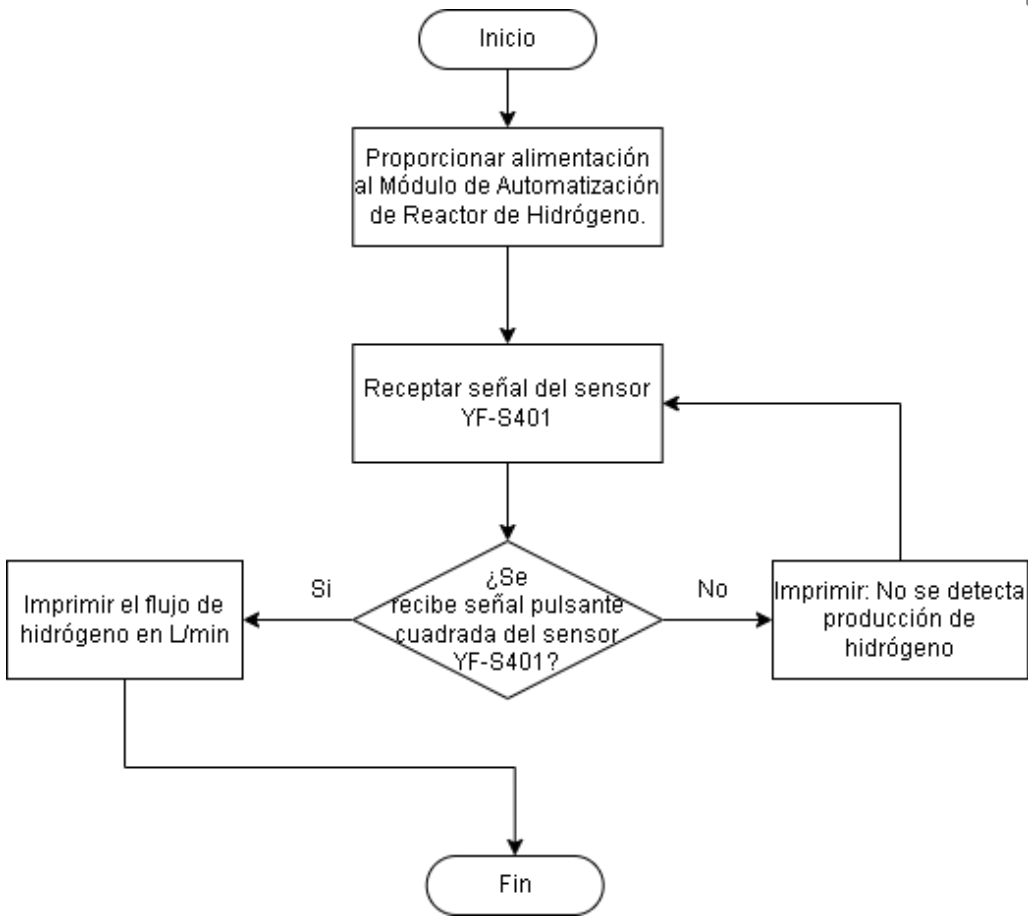
# METODOLOGÍA

## Módulo de automatización de reactor de hidrógeno - circuito



# METODOLOGÍA

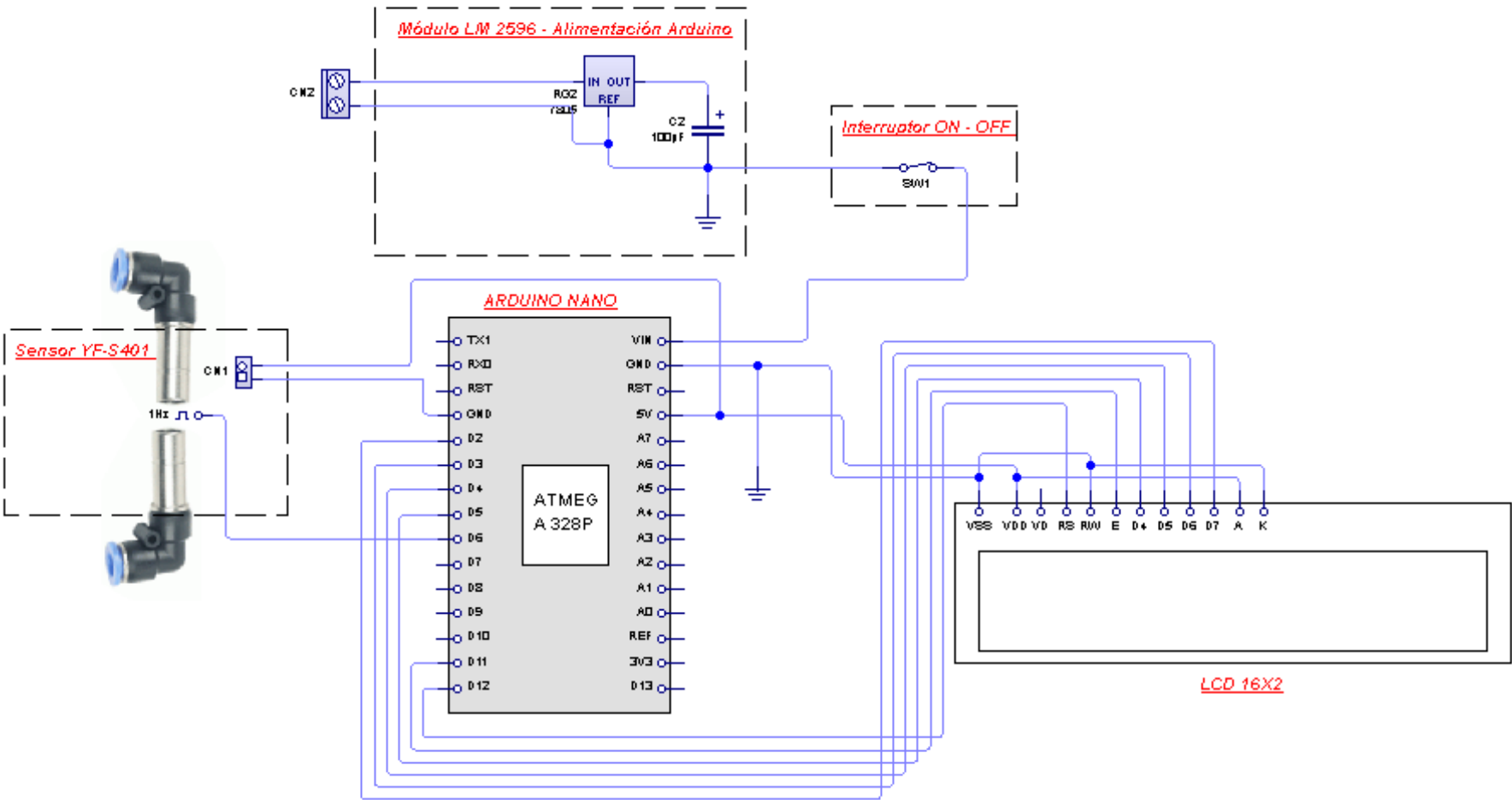
## Módulo de medición de flujo de hidrógeno





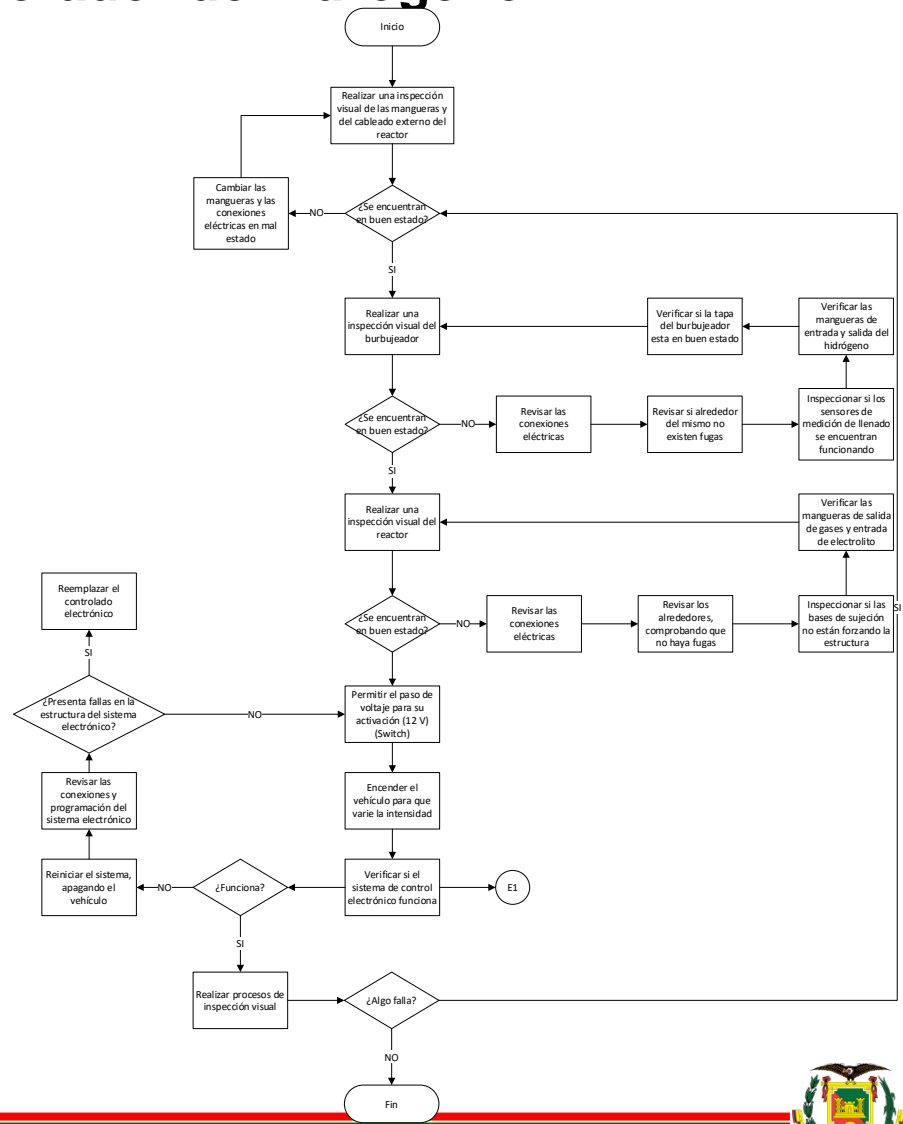
# METODOLOGÍA

## Módulo de medición de flujo de hidrógeno - circuito



# METODOLOGÍA

## Mantenimiento del generador de hidrógeno



# METODOLOGÍA

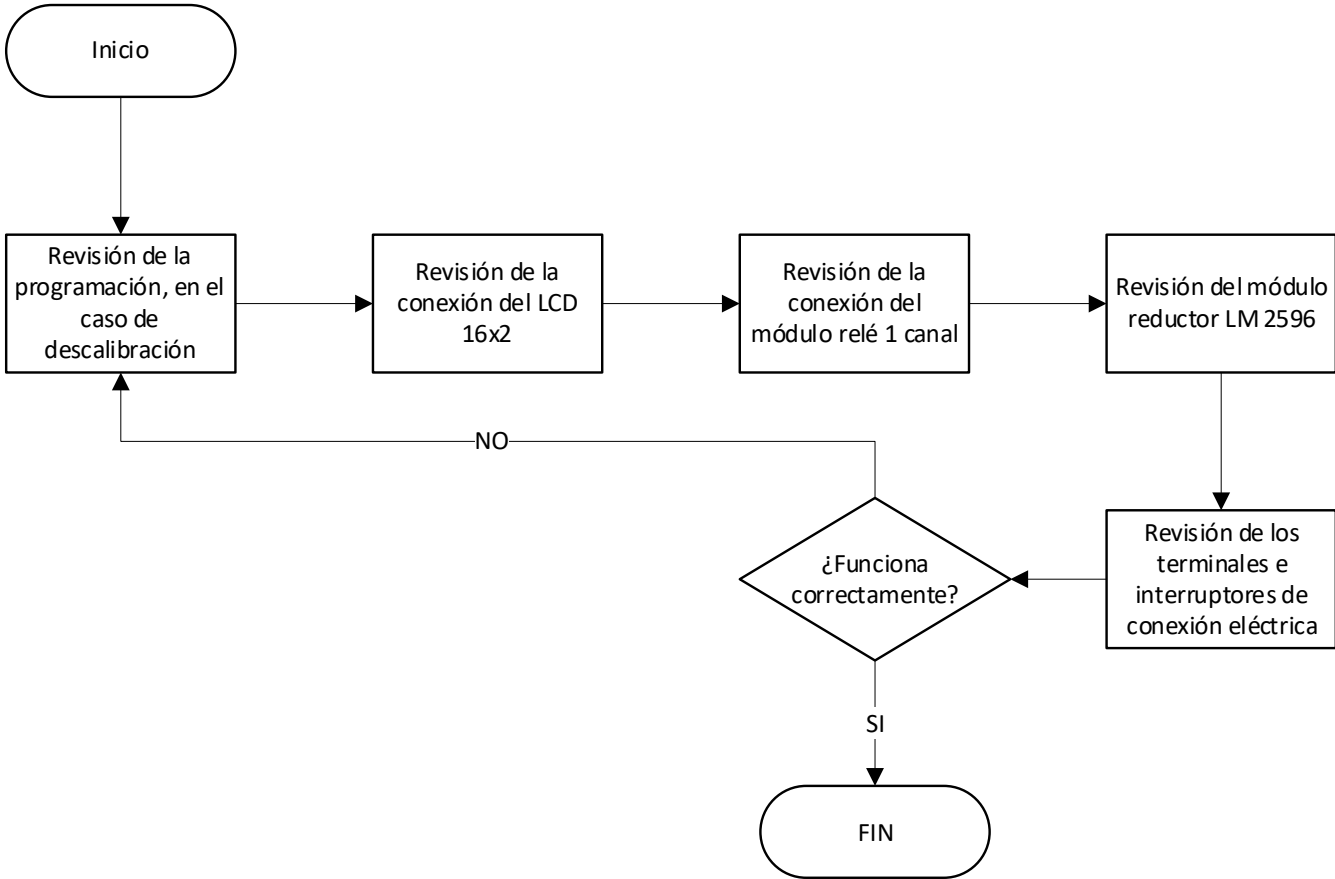
## Mantenimiento del generador de hidrógeno

Mantenimiento del generador de hidrogeno					
	Comprobación	Comprobar	Comprobación	Limpiar el	Retirar el agua
Detalle	n del nivel de electrolito en el burbujeador.	que ningún elemento de conexión del generador de hidrogeno (Mangueras) tenga daños o torceduras	n de fugas en el sistema, este se puede realizar soplando en la manguera de salida de hidrogeno, con el vehículo apagado	sistema con la utilización de vinagre y agua para que se desprenda toda impureza de las placas, haciéndolo funcionar 1 hora	con vinagre y llenarlo nuevamente de agua destilada con hidróxido de sodio (1 gramo de KOH/47 ml Agua destilada)
Kilometraje	Tomando en cuenta el indicador de nivel del mismo				
150	✓	✓			
300		✓	✓		
450	✓	✓			
600		✓	✓		
750	✓	✓			
900		✓	✓		
1000	✓	✓		✓	✓



# METODOLOGÍA

## Mantenimiento del módulo de encendido del generador de hidrógeno



# CONTENIDO

- 1 Antecedentes
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Justificación e importancia
- 4 Objetivos
- 5 Metodología
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones
- 8 Recomendaciones



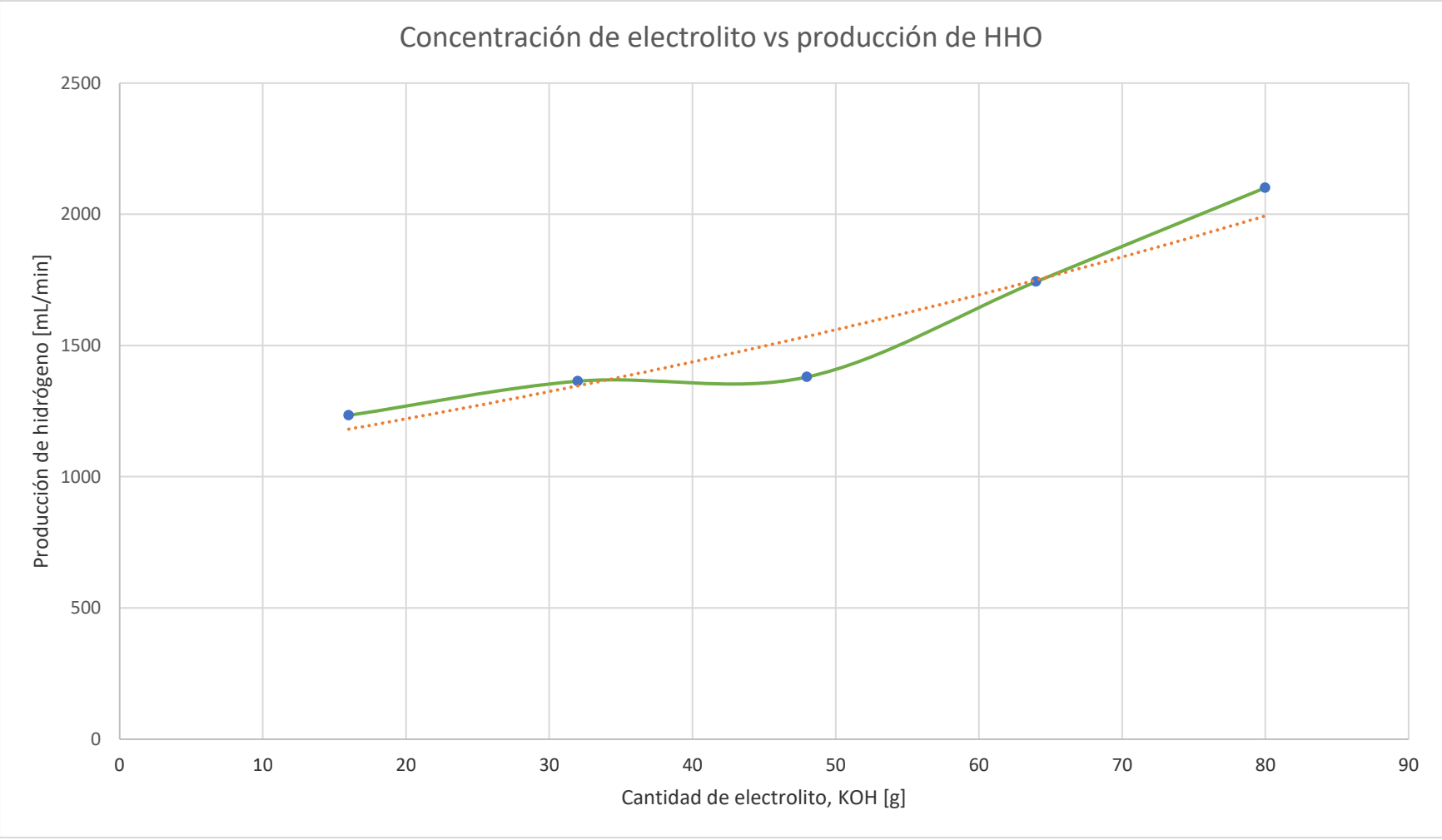
# Obtención de electrolito

## Comprobación de funcionamiento del reactor de hidrógeno

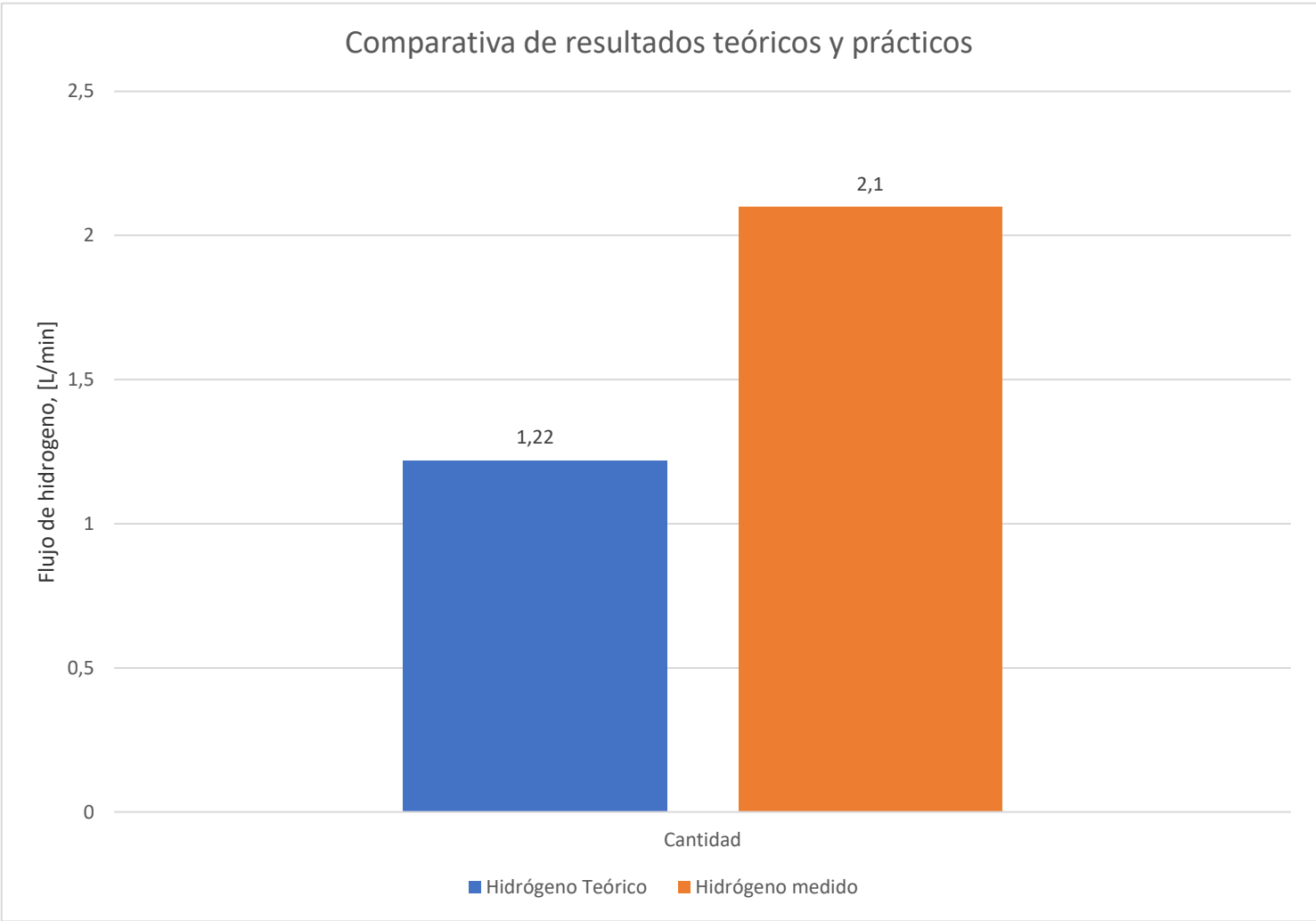
Prueba	Cantidad de solución [g]	Cantidad de agua destilada [ml]	Voltaje del generador de hidrogeno [V]	Consumo de corriente [A]	Generación de hidrogeno [ml/min]	Temperatura del reactor de hidrógeno [°C]
1	16	3785	13,96	2,43	1234	30
2	32	3785	13,53	3,16	1364	35
3	48	3785	13,12	4,25	1380	35
4	64	3785	12.95	5,82	1743	37
5	80	3785	12,90	6,48	2101	39



# Obtención de electrolito



# Obtención de electrolito



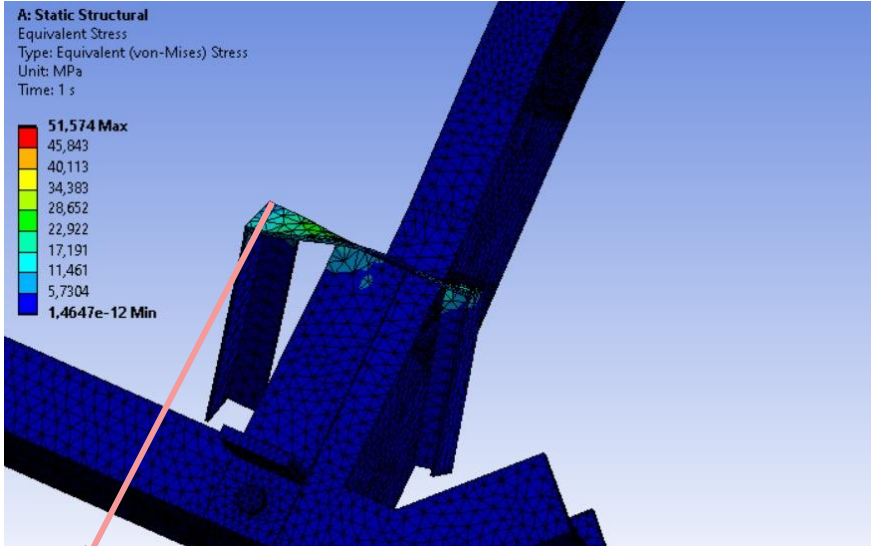
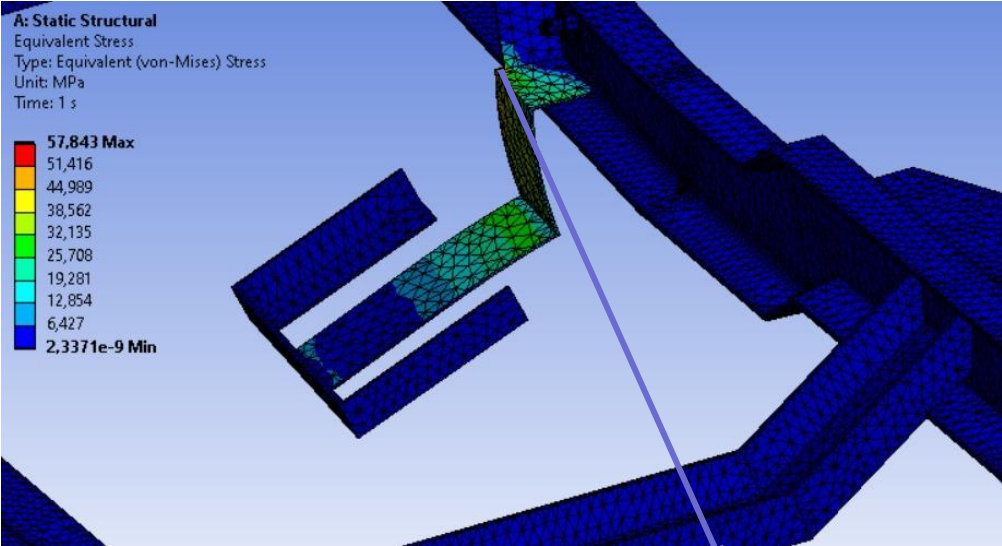


# Análisis de soportes del generador y burbujeador

## Estrés equivalente (Von – Mises) – Base del generador

Gasolina

Diesel



57,843 MPa

51,57 MPa



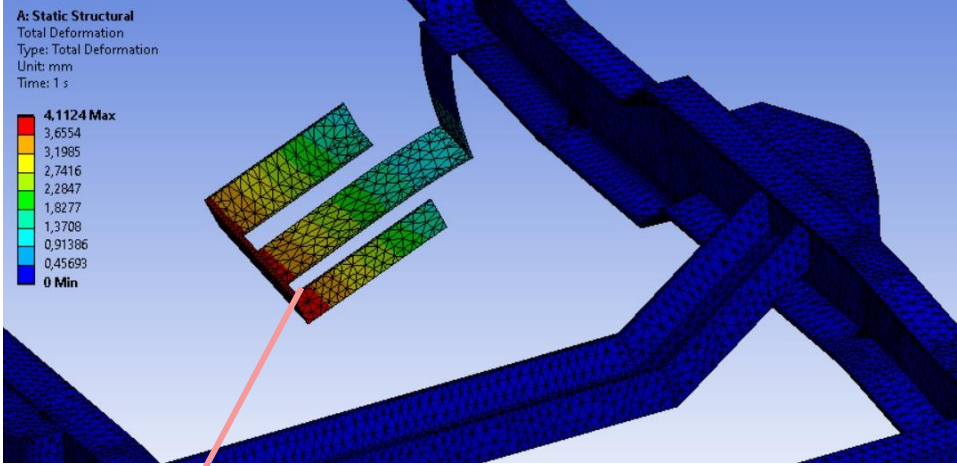
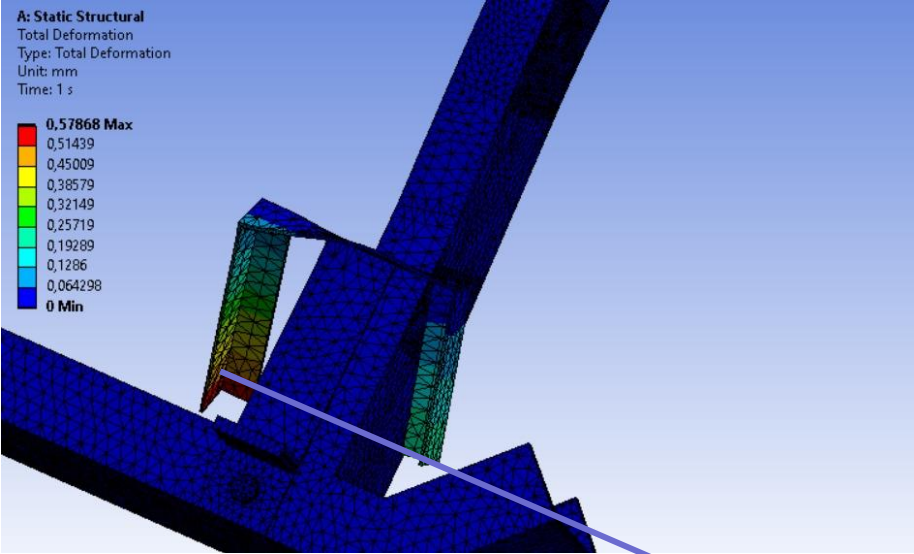
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Análisis de soportes del generador y burbujeador

## Deformación – Base del generador

Diesel

Gasolina



0,5786 mm

4,1124 mm



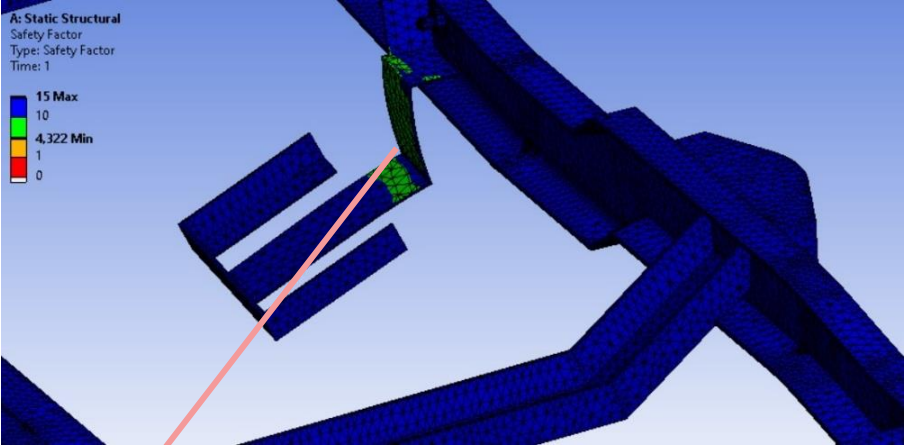
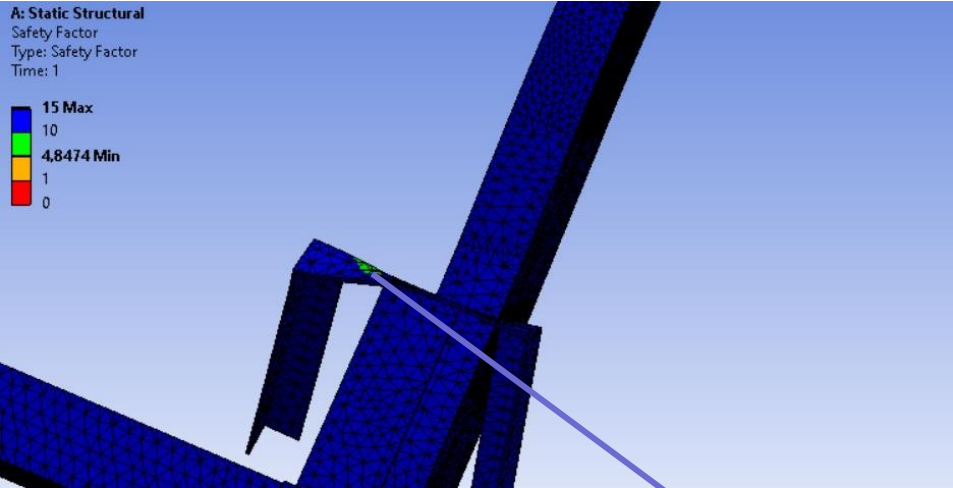
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Análisis de soportes del generador y burbujeador

## Factor de seguridad – Base del generador

Diesel

Gasolina



4,84

4,32



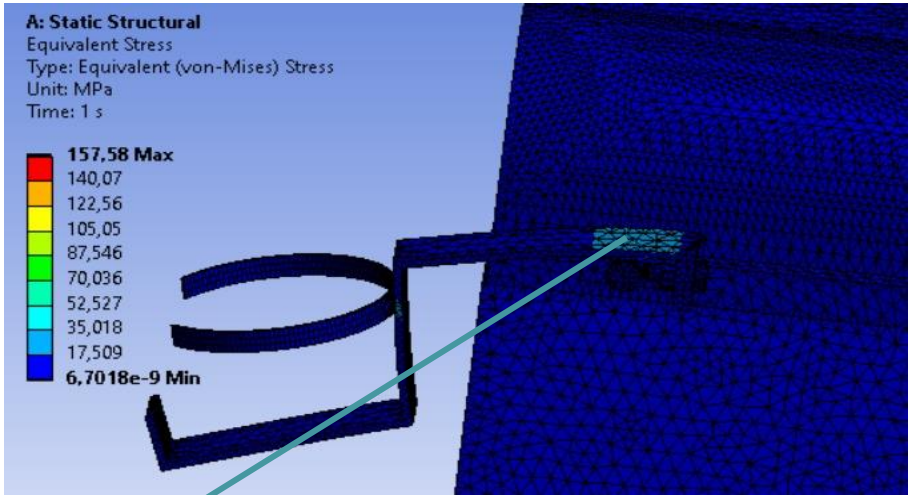
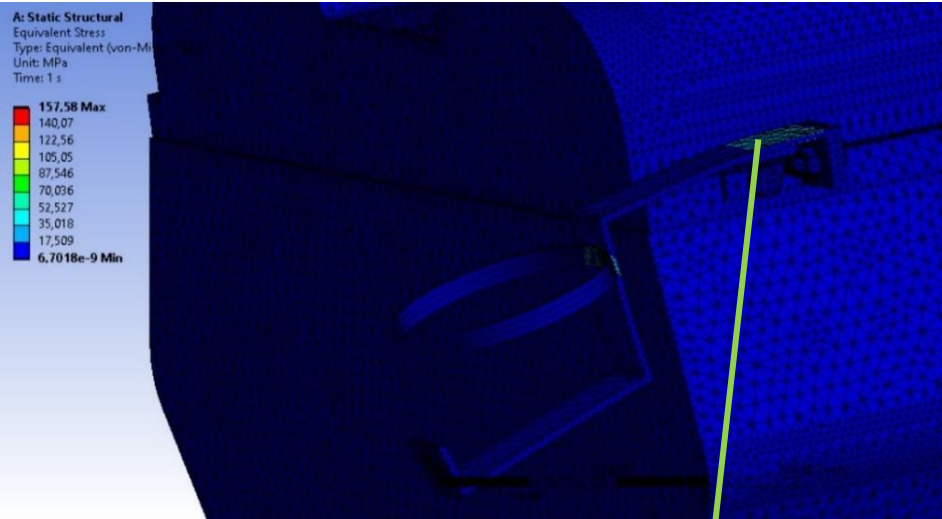
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Análisis de soportes del generador y burbujeador

## Estrés equivalente (Von – Mises) – Base del generador

Diesel

Gasolina



157,58 MPa

345 MPa



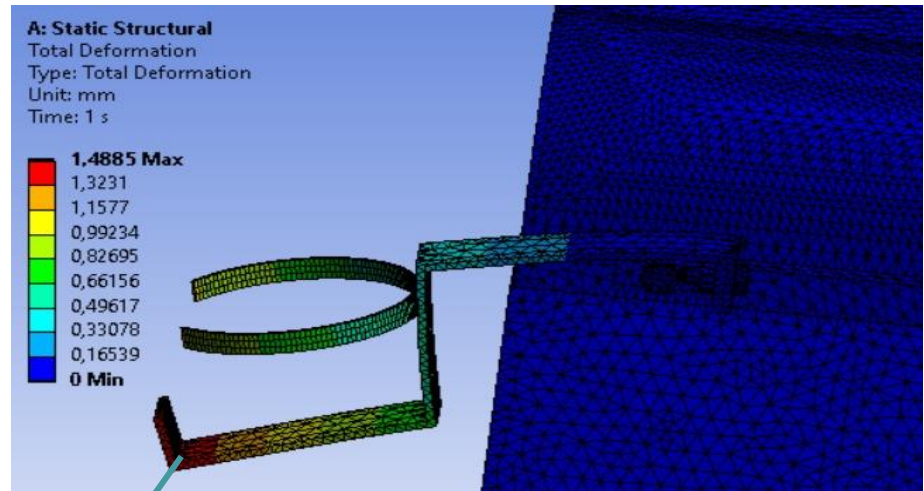
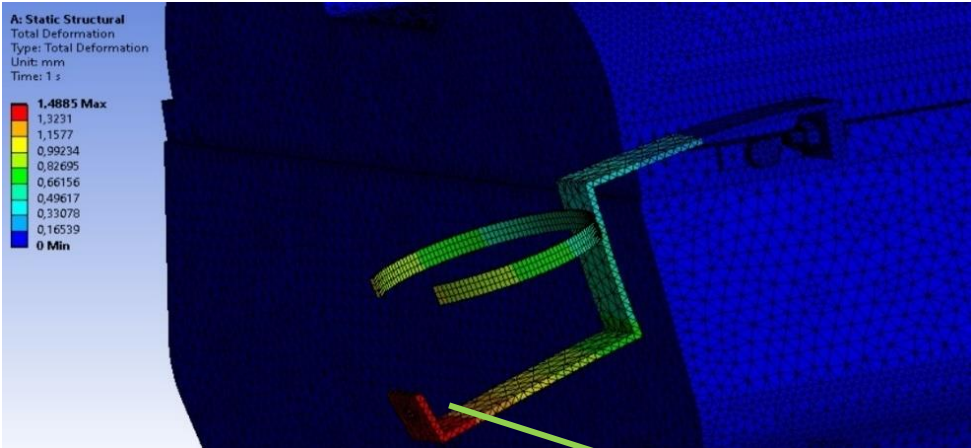
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Análisis de soportes del generador y burbujeador

## Deformación – Base del generador

Diesel

Gasolina



1,4885 mm

1,4885 mm



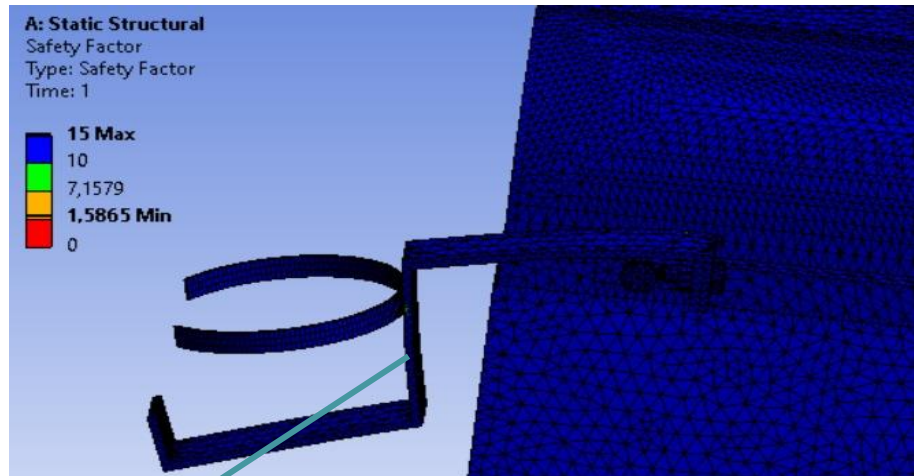
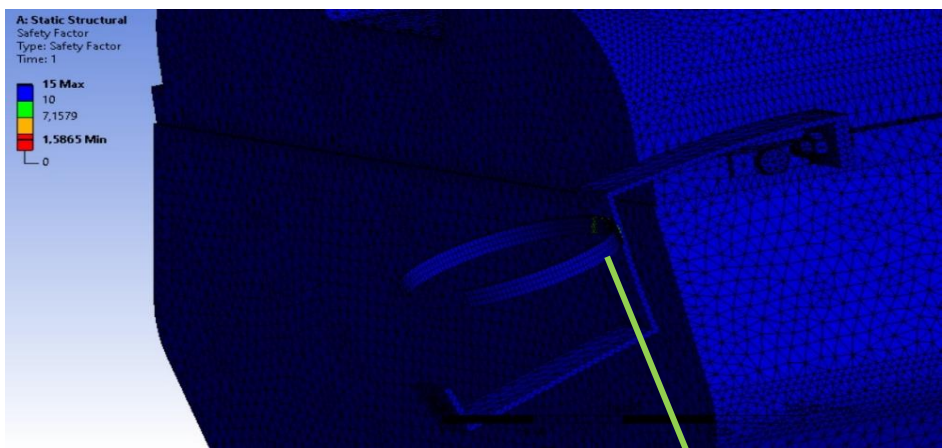
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Análisis de soportes del generador y burbujeador

## Factor de seguridad – Base del generador

Diesel

Gasolina



7,15

7,15



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

# CONTENIDO

- 1 Antecedentes
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Justificación e importancia
- 4 Objetivos
- 5 Metodología
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones
- 8 Recomendaciones



# CONCLUSIONES

- La investigación teórica científica se realizó con éxito por lo cual se obtuvo el conocimiento para realizar los cálculos necesarios y así obtener datos teóricos los cuales fueron comparados con los datos reales medidos, obteniendo resultados favorables en lo que respecta a generación de hidrógeno.
- Para la instalación adecuada se estudió exhaustivamente la correcta ubicación de los componentes del sistema de generación de hidrógeno, así evitando problemas con el montaje y desmontaje, sistemas de motor, carrocería y/o latonería.





# CONCLUSIONES

- Con la selección correcta de componentes acorde a las exigencias y entorno físico al que va estar expuesto el sistema de generación de hidrógeno, se logra construir un reactor de hidrógeno que satisface las perspectivas del proyecto y supera la producción de hidrógeno estimada mediante cálculos matemáticos.
- Con la investigación y análisis previo de ubicación, se logró la instalación adecuada del sistema de generación de hidrógeno sin contratiempos, esto haciendo uso correcto del equipo mecánico y electrónico necesario para la instalación, y del equipo de seguridad para la preparación y suministro del electrolito sin riesgo alguno para el usuario.



# CONTENIDO

- 1 Antecedentes
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Justificación e importancia
- 4 Objetivos
- 5 Metodología
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones
- 8 Recomendaciones



# RECOMENDACIONES

- Para la implementación del generador de hidrógeno se debe tomar en cuenta el lugar donde se requiere colocar, esto tomando en cuenta las normas de ubicación de los sistemas de hidrógeno, las bases deben colocarse de manera fija y de fácil acceso, sin afectar los componentes propios de los motores.
- Es de vital importancia que el motor tanto del vehículo diésel como del vehículo a gasolina, estén en óptimas condiciones ya que el hidrógeno al generar una explosión mucho más agresiva dentro de la cámara de combustión, conlleva a un aumento de temperatura y se traduce en el desgaste de los componentes del mismo, por ejemplo: pistón, biela y bulón, etc. Por ende, el sistema de lubricación de los motores debe estar correctamente funcionando para que cumpla su funcionamiento óptimo y refrigerere a todo el sistema.



# RECOMENDACIONES

- Se debe mantener un nivel de electrolito correcto, para que el sistema generador de hidrógeno funcione de manera óptima, esto revisando los leds del módulo de nivel de electrolito que dispone el burbujeador. De tal manera que la cantidad de electrolito sea de 80gr de KOH por cada galón (3,7 L) de agua destilada, debido a que esta fue la opción que generaba una mayor cantidad de hidrógeno suficiente para la relación de compresión que tienen los motores.
- Realizar una limpieza periódica del generador de hidrógeno, en este caso al ser un generador de celda seca, se utiliza ácido acético conocido como Vinagre y agua destilada. Se debe realizar dicha limpieza por aproximadamente 20 minutos, con el vehículo encendido, esto para que se desprendan todas las impurezas que tiene la placa del cátodo (+), ya de igual manera que se retire el óxido que se produce en la placa del cátodo (+), esta es la más importante debido a que es ahí donde se disocia el hidrógeno y el oxígeno.



Gracias



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