



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA IGNÍFUGO CON ACTIVACIÓN ELÉCTRICA PARA AUTOS DE
COMPETENCIA MODALIDAD RALLY SEGÚN LA NORMA FIA 8865-2015”**

AUTOR: PARREÑO MENDEZ, JUAN SEBASTIAN

DIRECTOR: ING. MENA PALACIOS, JORGE STALIN

LATACUNGA

2023





“El automóvil más bello es el que todavía nos queda por hacer”

Enzo Ferrari

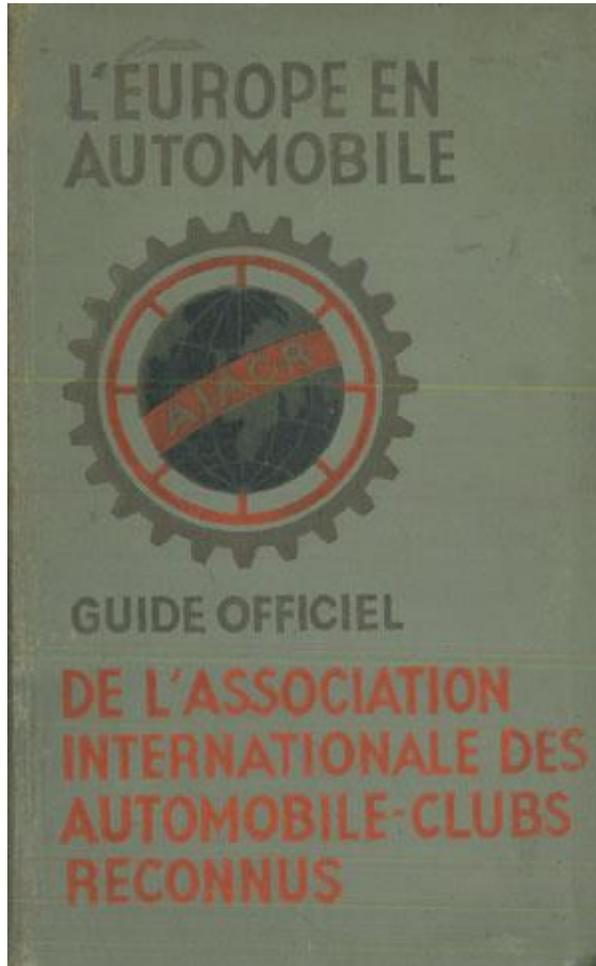


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ÍNDICE DE CONTENIDO

<u>Antecedentes</u>	4
<u>Planteamiento del Problema</u>	6
<u>Descripción Resumida del Proyecto</u>	7
<u>Justificación e Importancia</u>	8
<u>Objetivos del Proyecto</u>	9
<u>Metas</u>	11
<u>Hipótesis</u>	12
<u>Marco Teórico</u>	13
<u>Diseño y Construcción</u>	18
<u>Pruebas y Análisis</u>	39
<u>Conclusiones y Recomendaciones</u>	46





En el siglo XX se comenzaron a popularizar las carreras de ciudad a ciudad sin embargo no existían reglas para que sean competencias justas y mucho menos competencias seguras, es por esta razón que el Automobile Club de France junto a otros clubs crearon la Association Internationale des Automobile Clubs Reconnus, que fue el predecesor de la FIA. (FIA, s.f.)

Cualquier deporte que involucre automotores conlleva peligros, según datos históricos en la década de los 60, una de cada ocho carreras involucraba la muerte de un piloto, razón por la cual el organismo internacional comenzó a crear normativas y estándares para mejorar la seguridad tanto para los competidores como para los espectadores.



Copyright Gregorio Espartos
Auto Sprint Competicion



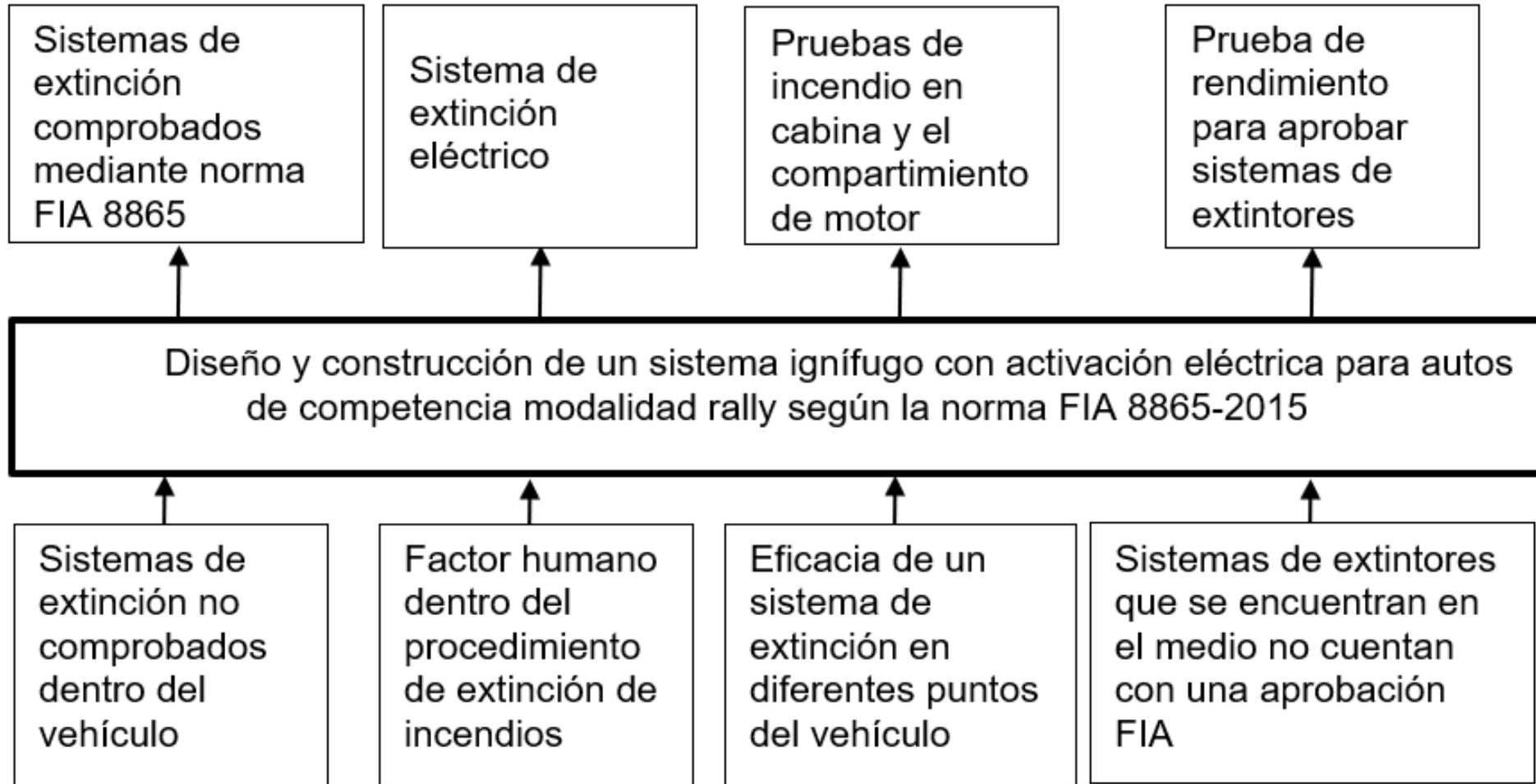


En la disciplina de Rally los riesgos se encuentran siempre presentes debido a que se desarrollan en entornos naturales donde influyen factores que no pueden ser controlados, razón por la cual en la actualidad la FIA cuenta con normativas y estándares para que la seguridad de los tripulantes del vehículo sea lo más alta posible.

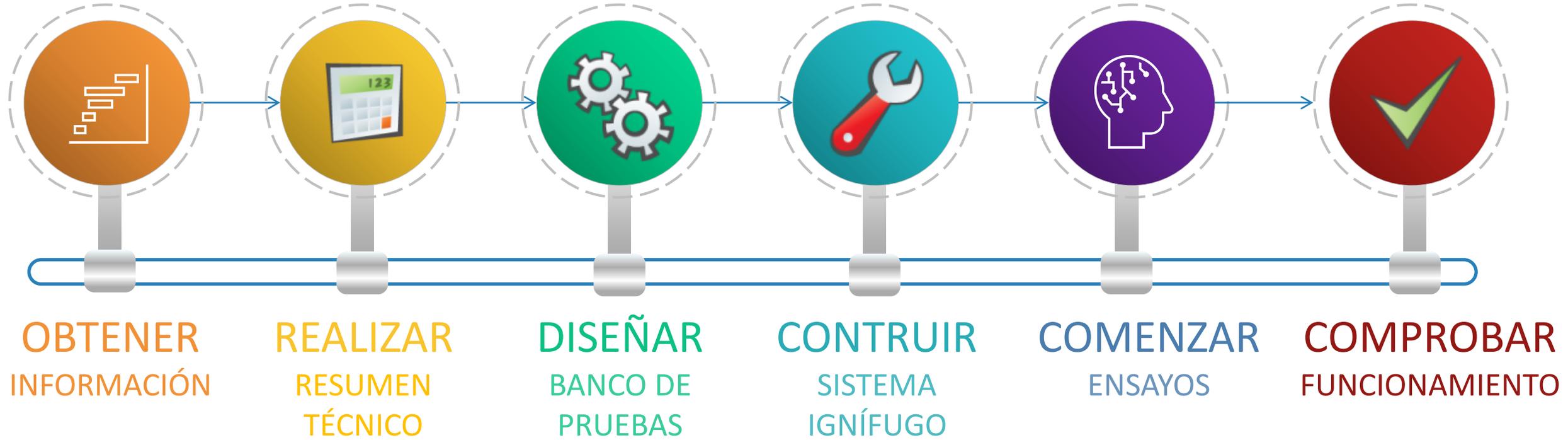


Entre los sistemas de seguridad que cuenta el vehículo se encuentra el sistema de extinción de incendios, la FIA (2015) afirma que un sistema de extinción de incendios está diseñado principalmente para retrasar el desarrollo del fuego. (p.4)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO

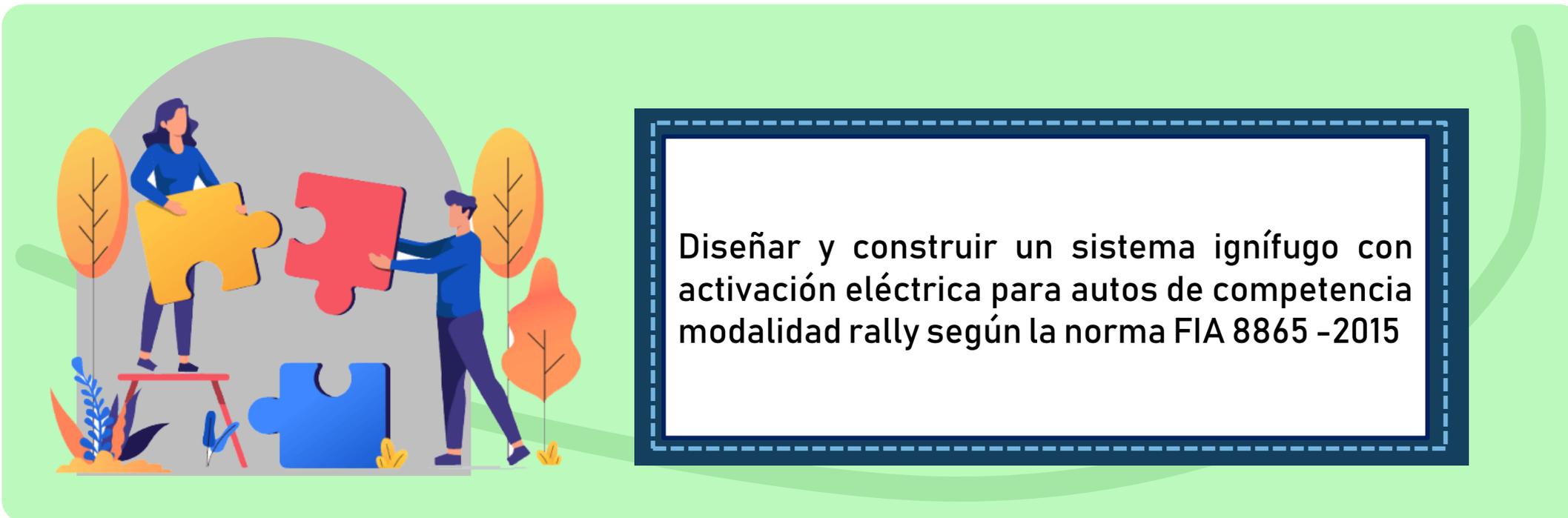


JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA





OBJETIVO GENERAL



Diseñar y construir un sistema ignífugo con activación eléctrica para autos de competencia modalidad rally según la norma FIA 8865 -2015

OBJETIVOS DEL PROYECTO



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

01

Obtener información sobre normativas de seguridad aplicadas en vehículos utilizados para competencias en la modalidad de rally de fuentes de información verídicas como: artículos científicos, reglamentos, normativas, estándares y páginas web de organismos reguladores de eventos automovilísticos

03

Investigar los estándares y normativas correspondientes a sistemas eléctrico de extinción para vehículos de competición

05

Investigar los materiales disponibles en el medio que cumplan con los estándares de la normativa FIA 8865-2015 para construir el sistema eléctrico de extinción

02

Diseñar y construir una cabina de pruebas del habitáculo y compartimento motor para pruebas de sistemas de extinción siguiendo los parámetros de la normativa FIA 8865-2015

04

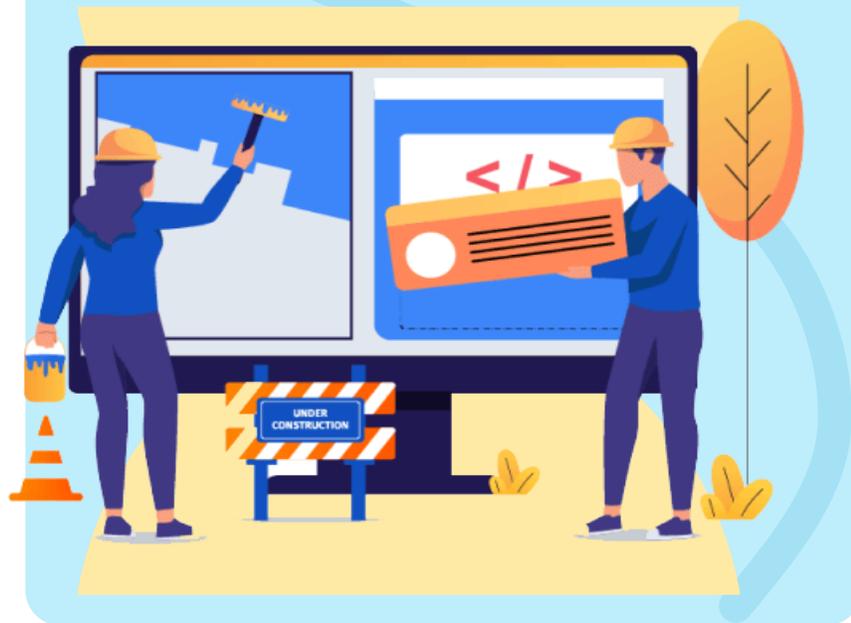
Diseñar el sistema y accionamiento en base al banco de pruebas según la normativa correspondiente

06

Realizar un análisis de resultados para comprobar si el sistema de extinción cumple con los parámetros que dicta la norma FIA 8865-2015



Diseñar y construir una cabina para el habitáculo y el compartimento motor del banco de pruebas y el sistema eléctrico de extinción de incendios con esto se podrá comprobar que el sistema funcione dentro de los parámetros que dicta la normativa de seguridad de la FIA



Analizar los resultados obtenidos, que cumplan con la normativa FIA 8865-2015 (sistemas de extinción fijos y portátiles)

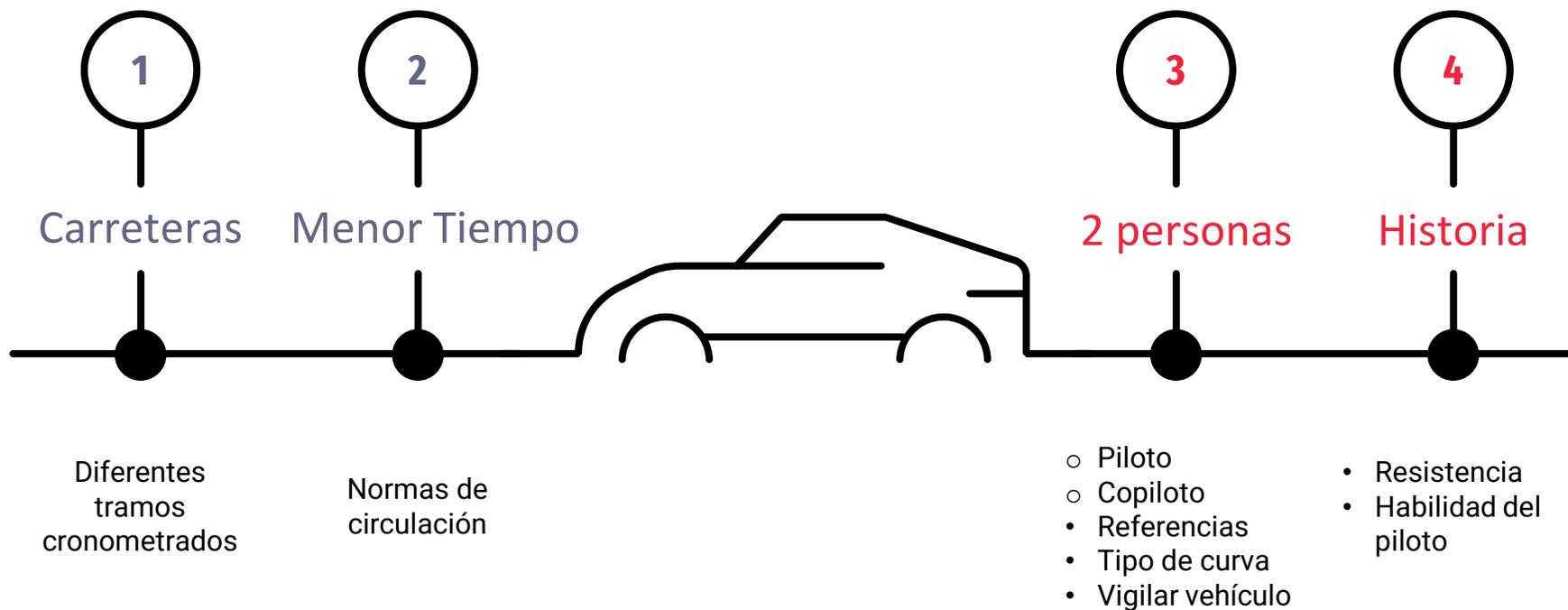


¿Al diseñar y construir un banco de pruebas y un sistema de extinción de incendios en función a la norma FIA 8865-2015 se podrá comprobar el funcionamiento y eficacia del sistema?



MARCO TEÓRICO







FIA

1

La Federación Internacional del Automóvil



FEDAK

2

Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo



FEDERACIÓN ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y KARTISMO



CNR

3

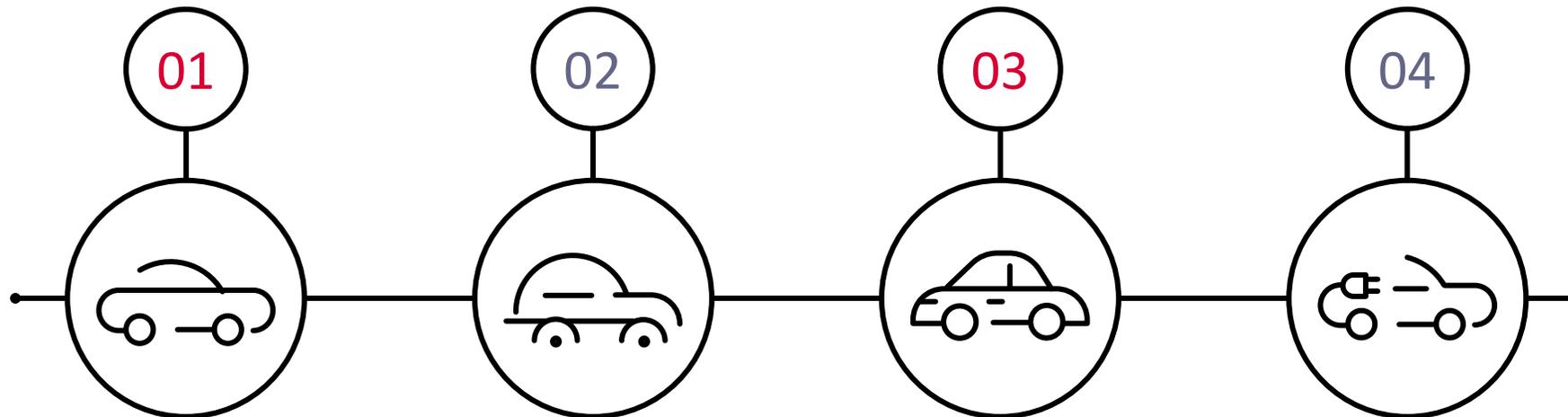
Comisión Nacional de Rally



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

COMISION NACIONAL DE RALLY CNR

REGLAMENTO GENERAL DE RALLY



Reglamento

Reglamento Nacional
Deportivo de Rally

Categorías

- 4 Homologación FIA
- 9 Adicionales

Seguridad

- Anexo J de la FIA
- Reglamento Nacional
de Seguridad para
Rallyes

Elementos

- Jaula de Seguridad
- Asientos y Arnés
- Sistema de Extinción de Incendio



SISTEMA DE EXTINCIÓN DE INCENDIO

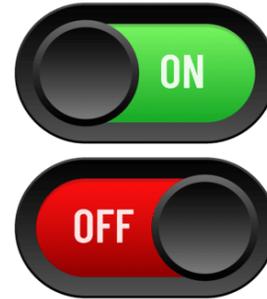
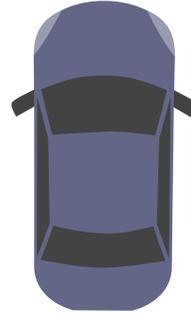
Alcance

Sin necesidad de moverse del asiento con el cinturón abrochado



Norma FIA

FIA 8865-2015 Sistemas De Extinción Fijos Y Portátiles

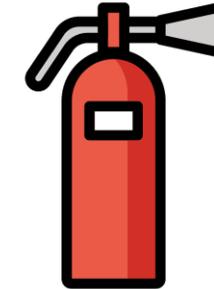


Tipos

- Manual
- Eléctrica
- Automática

Fuegos

- A - Brasas (Caucho, neumáticos)
- B - Licuables (Gasolina)
- C - Presencia de gases
- D - Metales inflamables (aluminio polvo)
- F - Aceites Vegetales



Agente Extintor

- Agua (A)
- Agua Pulverizada (A, B)
- Espuma (A,B)
- Polvo (A,B,C)
- CO2 (A.B.C)



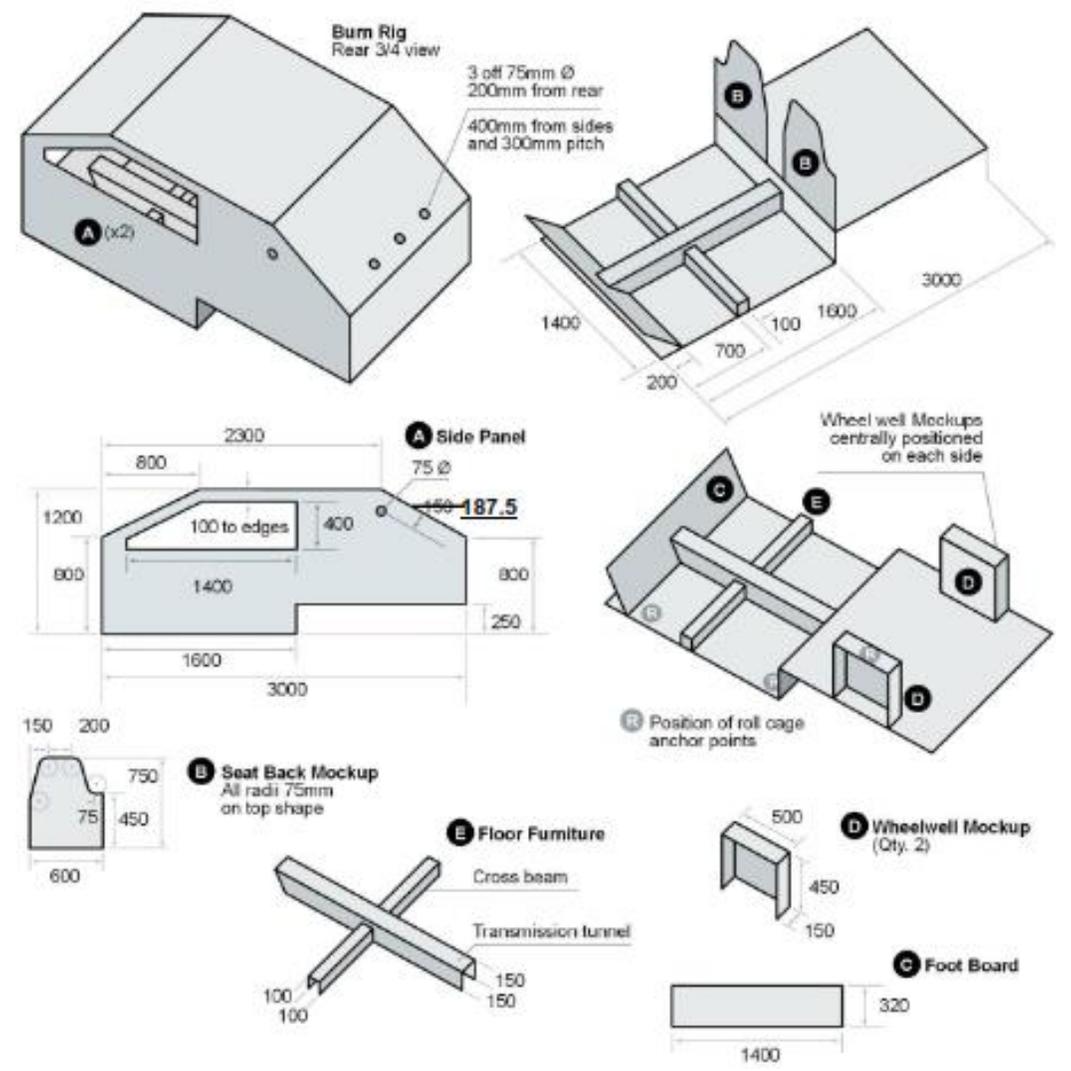
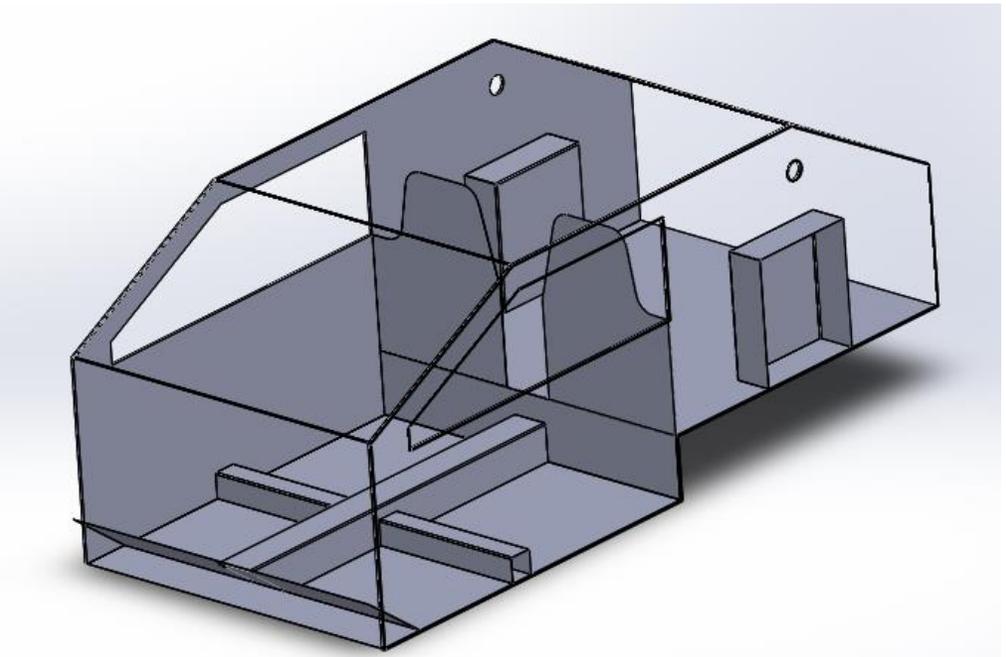
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN





Banco De Pruebas Del Habitáculo

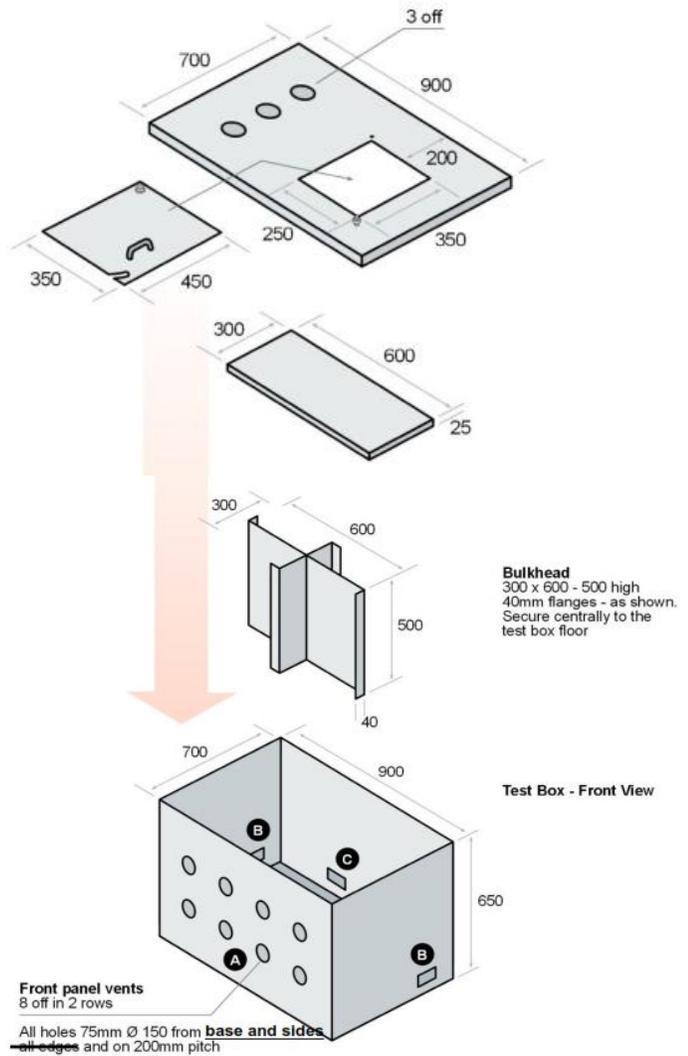
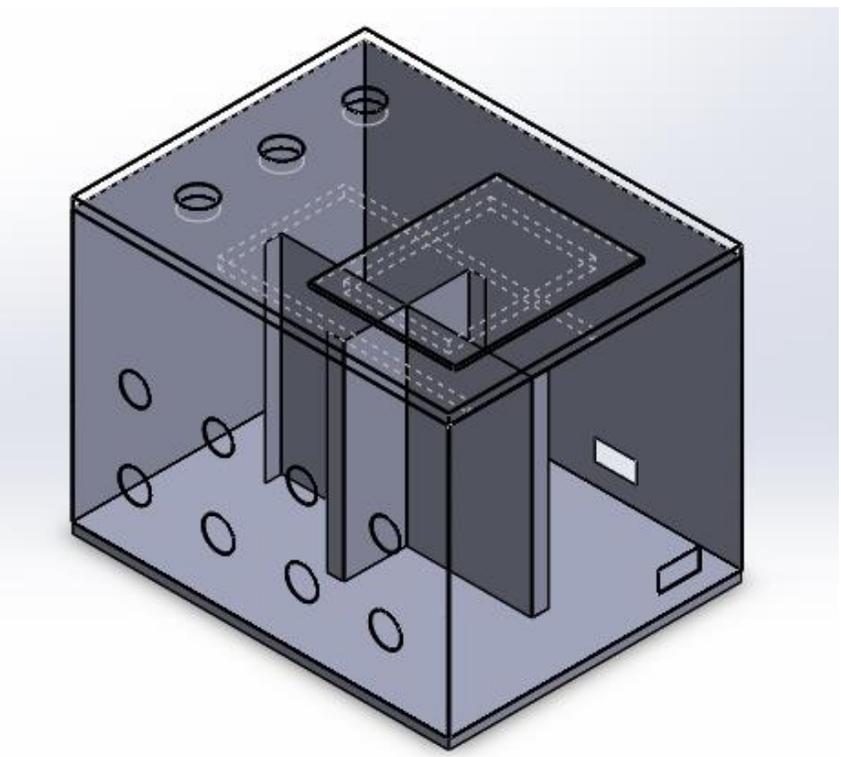
- 1. Diseño en software CAD
- 2. Medidas del Anexo A





Banco De Pruebas Del Compartimiento Motor

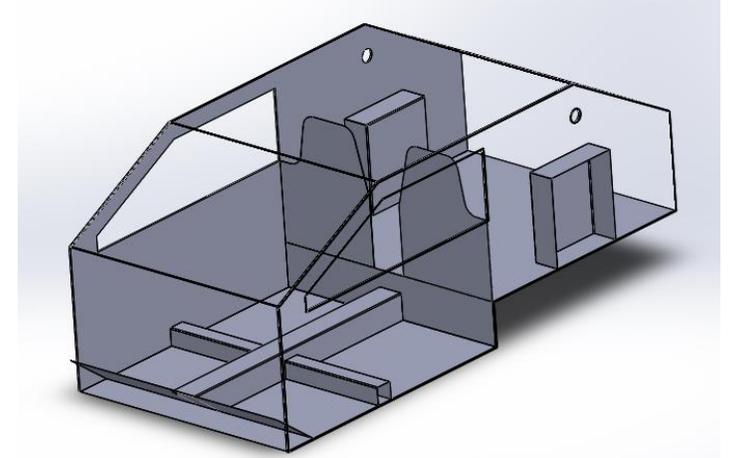
- 1. Diseño en software CAD
- 2. Medidas del Anexo B





Banco De Pruebas Del Habitáculo

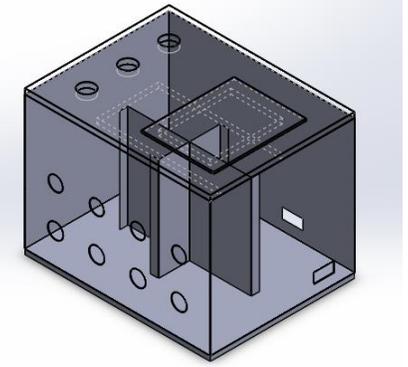
1. Láminas de acero 1.5 mm
2. Respaldos asientos 2.0 mm
3. Unión mediante soldadura





Banco De Pruebas Del Compartimiento Motor

1. Láminas de acero 1.5 mm
2. Respaldos asientos 2.0 mm
3. Unión mediante soldadura





Elementos de Simulación

Elementos para simular las condiciones y materiales del vehículo

1. Elementos de enmascaramiento (algodón)
2. Combustible
3. Plastico

Chimeneas de combustible

- Acero inoxidable
- 2 L
- Diámetro 250 mm



Elemento de enmascaramiento

- Elemento de tela de algodón.
- Longitud 600 x 700 mm
- Peso 300 g





Elementos de Simulación

Elementos para simular las condiciones y materiales del vehículo

1. Elementos de enmascaramiento (algodón)
2. Combustible
3. Plastico

Elementos de plástico

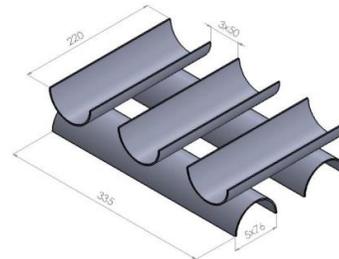
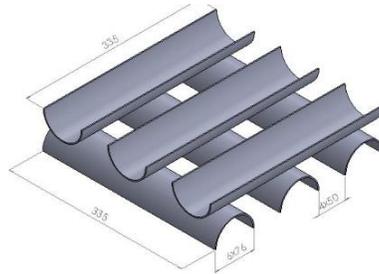
- Conjunto de tuberías PVC en U

Habitáculo

- Ancho, 76 ± 5 mm
- Longitud, 335 ± 10 mm
- Peso total, 600 - 750 g.

Motor

- Ancho, 76 ± 5 mm
- Longitudes; 220 ± 10 , 335 ± 10 mm
- Peso total, 400 - 550 g





Agente Extintor

Elementos del vehículo según el origen del fuego

Clase A - Telas, elementos plásticos;

Clase B - Aceite, gasolina, pintura;

Clase C – Componentes eléctricos, baterías.

Agentes Extintores

- Polvo Químico Seco
- CO2
- HCFC 123

CO2 (Dióxido de Carbono)

- Gas, funciona con electroválvula
- El Gas más barato dentro del mercado ecuatoriano
- 5 libras, cantidad comercial





Deposito o Tanque

CO2 presión de acuerdo al fabricante

- Acero laminado al frio

Resistencia al rendimiento [MPa]	Resistencia a la tracción [MPa]
140 – 280	≥ 270

Material

- Resistir al fuego
- Funcionar dentro de los límites de -15°C a +80°C

Temperatura máxima de servicio [°C]	Punto de fusión [°C]
500	1480 - 1526

Tanque marca PREDEXE

Acero SPCC, cumple con parámetros

- Apéndice J FIA
- ANSI
- NFPA10
- ISO9001





Montaje del Deposito o Tanque

Artículo 253 7.2.2 Apéndice J

- Ubicado en la cabina
- Mínimo 2 flejes metálicos
- Rango de temperatura de -15°C a $+80^{\circ}\text{C}$



Tubería

- Resistentes al fuego
 - No fundirse ni perder integridad durante pruebas
 - Ningún deterioro que afecte al funcionamiento
- Se usa acero galvanizado de 1/2 pulgada

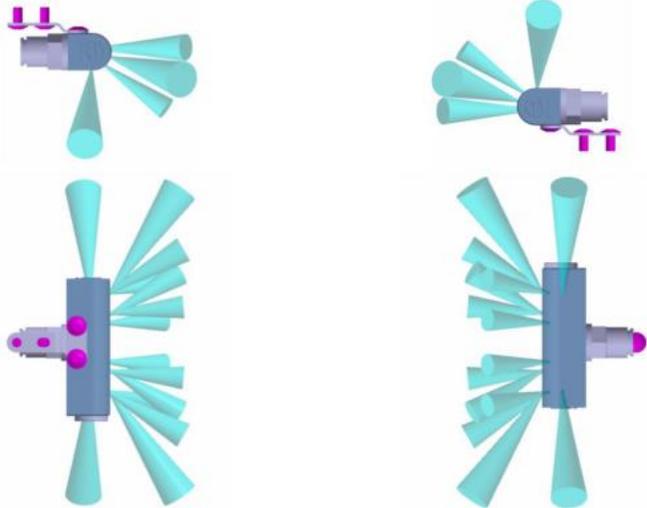




Boquillas

Agujeros perforados en una sección de tubería

- 14 salidas
- Diferentes ángulos
- Cubrir el mayor rango posible





Válvula

Control de salida del agente extintor

- Electroválvula Normalmente Cerrada de Alta Presión
- Modelo SLG5404-15
- Rango de 0 - 75 Bar, este valor es equivalente a 1088 PSI (600 PSI funcionamiento)



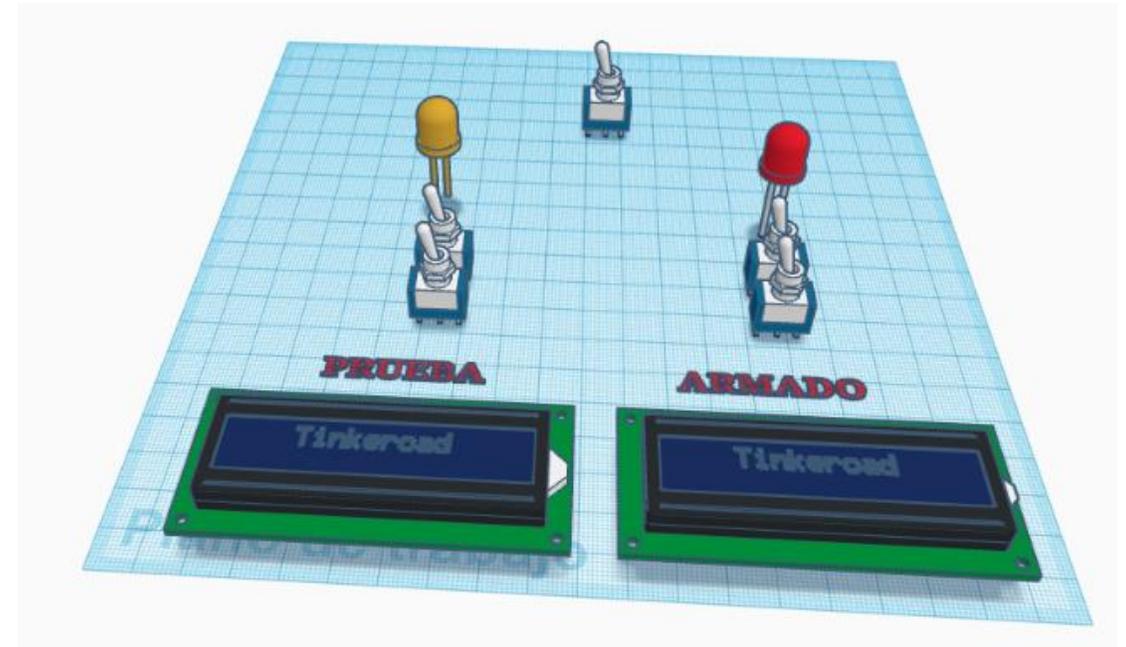
SISTEMA DE ACTIVACIÓN



Caja Eléctrica

Requisitos de la norma FIA

- Interruptor externo e Interno
- Dos LED;
 - LED rojo, para la posición de armado.
 - LED naranja, para la posición de prueba.



SISTEMA DE ACTIVACIÓN



Programación

Arduino IDE 2.1

- Código abierto, C++
- Dos programas
 - Posición Prueba
 - Posición Armado

Códigos de Error

BATERIA BAJA - PARPADEA 5 VECES
ACTIVADOR INTERNO - PARPADEA 4 VECES
ACTIVADOR EXTERNO - PARPADEA 2 VECES
ELECTROVALVULA - PARPADEA 6 VECES

Condiciones norma FIA

Posición de Armado

- Sistema Listo, LED parpadea cada 5 segundos

Posición de Prueba

- Sistema Listo, LED encendido por 5 segundos
- Error en el Sistema, LED indica el error por código.

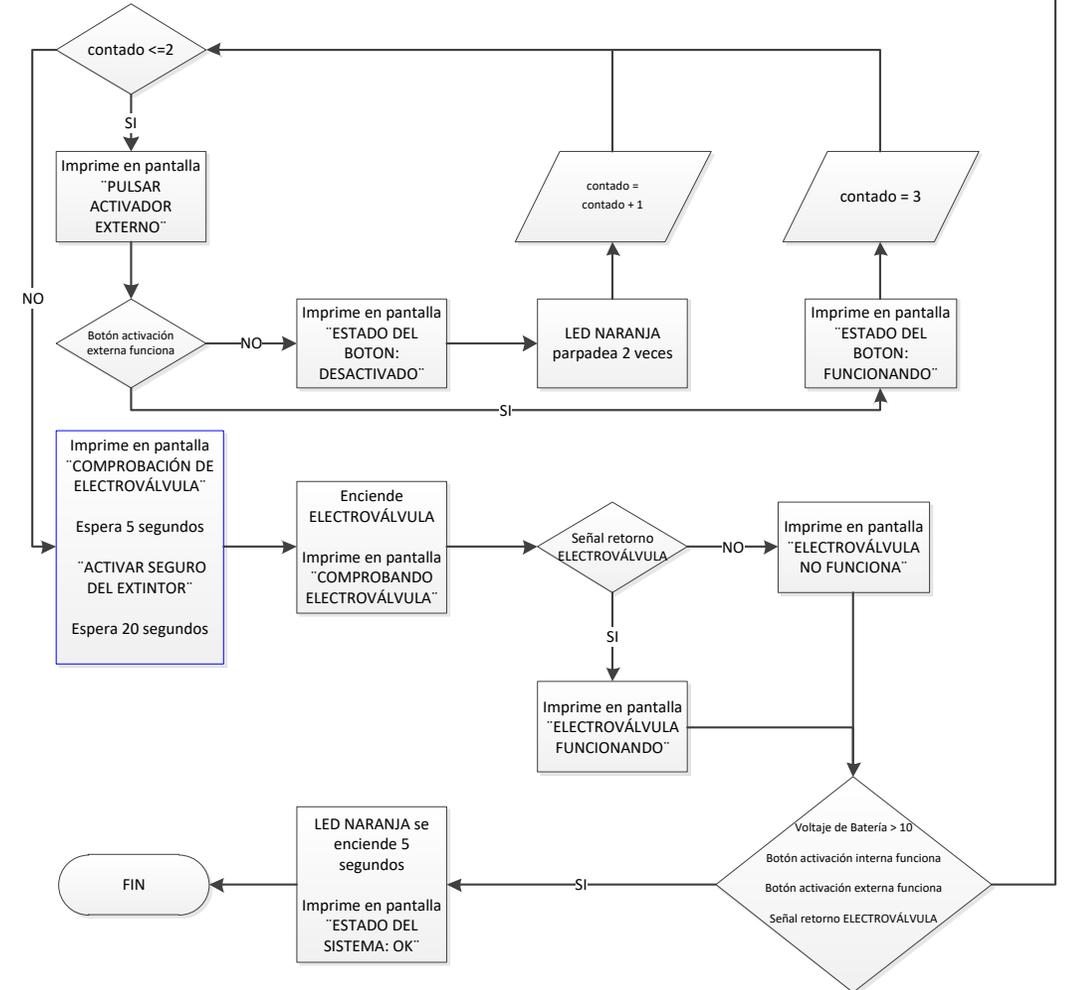
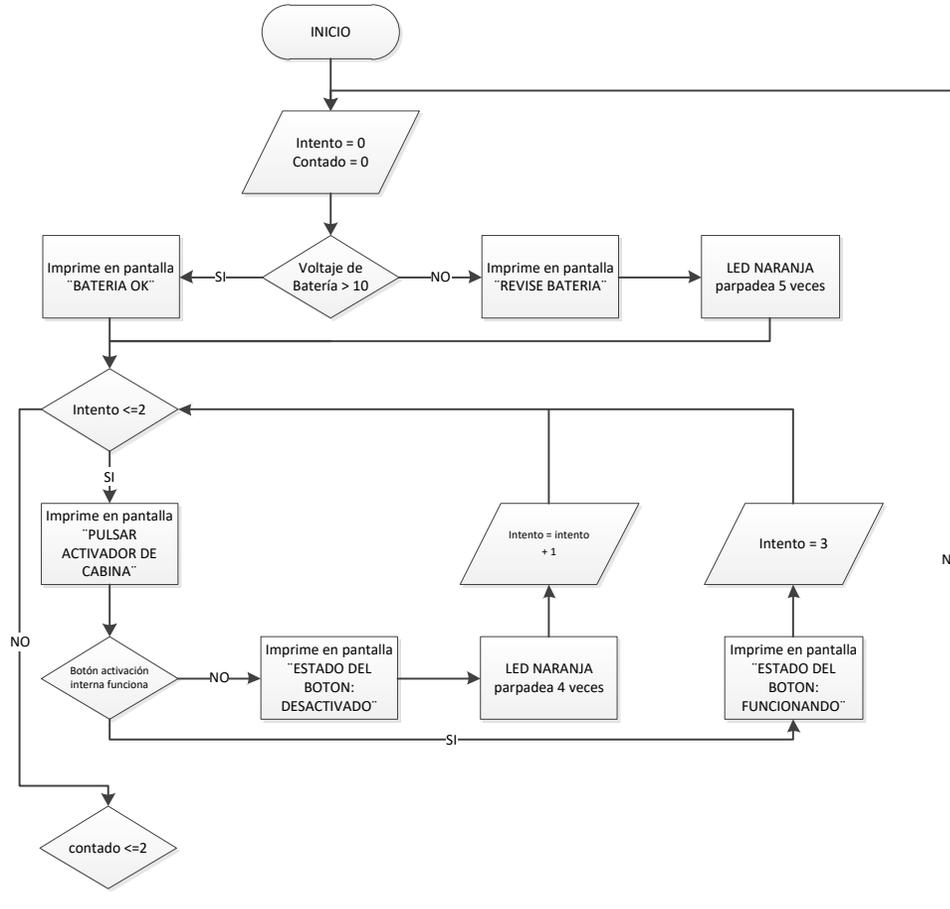
```
Arduino IDE 2.1.0
CIRCUITO_ARMADO_FINAL | Arduino IDE 2.1.0
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
Arduino Uno
CIRCUITO_ARMADO_FINAL.ino
1 int LED_armado = 7; //Bautizo el PIN 7 para LED ROJO POSICION ARMADO
2 const byte BOTON_control = 2; //Bautizo el PIN 2 INTERRUPCION para BOTON ACTIVACION CONTROL
3 const byte BOTON_externo = 3; //Bautizo el PIN 3 INTERRUPCION para BOTON ACTIVACION EXTERNO
4 int Extintor = 6; //Bautizo el PIN 6 para VALVULA o MOTOR (ACTUADOR) EXTINTOR
5
6 //ACTIVAR PANTALLA LCD
7 #include <LiquidCrystal.h>
8 LiquidCrystal lcd(8, 9, 10, 11, 12, 13); //(RS, E, D4,D5, D6, D7)
9 void setup()
10 {
11 // put your setup code here, to run once:
12 Serial.begin(9600); //IMPRIMIR EN MONITOR COMPUTADORA
13 pinMode(LED_armado,OUTPUT); //Bautizo LED ROJO POSICION ARMADO como salida
14 pinMode(Extintor,OUTPUT); //Bautizo VALVULA o MOTOR (ACTUADOR) EXTINTOR como salida
15 pinMode(BOTON_control,INPUT); //Bautizo BOTON ACTIVACION CONTROL como entrada
16 pinMode(BOTON_externo,INPUT); //Bautizo BOTON ACTIVACION EXTERNO como entrada
17 //FUNCION QUE ACTIVA LA INTERRUPCION DENTRO DEL PROGRAMA PRINCIPAL
18 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(BOTON_control), ActivarValvula, RISING);
19 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(BOTON_externo), ActivarVal2, RISING);
20 }
21
22 void loop()
23 {
24 digitalWrite(Extintor,1); //DEACTIVA EL PUERTO QUE ENERGIZA EL RELE EN 0
25 // put your main code here, to run repeatedly:
26 int valor_botcontrol = digitalRead(BOTON_control); // Valor de BOTON ACTIVADOR INTERIOR CONTROL
27 int valor_botexterno = digitalRead(BOTON_externo); // Valor de BOTON ACTIVADOR EXTERNO
28 int Volt_arduino = analogRead(A0); // Guardar el Valor en BITS de voltaje en la entrada A0
29
30 }
```



SISTEMA DE ACTIVACIÓN



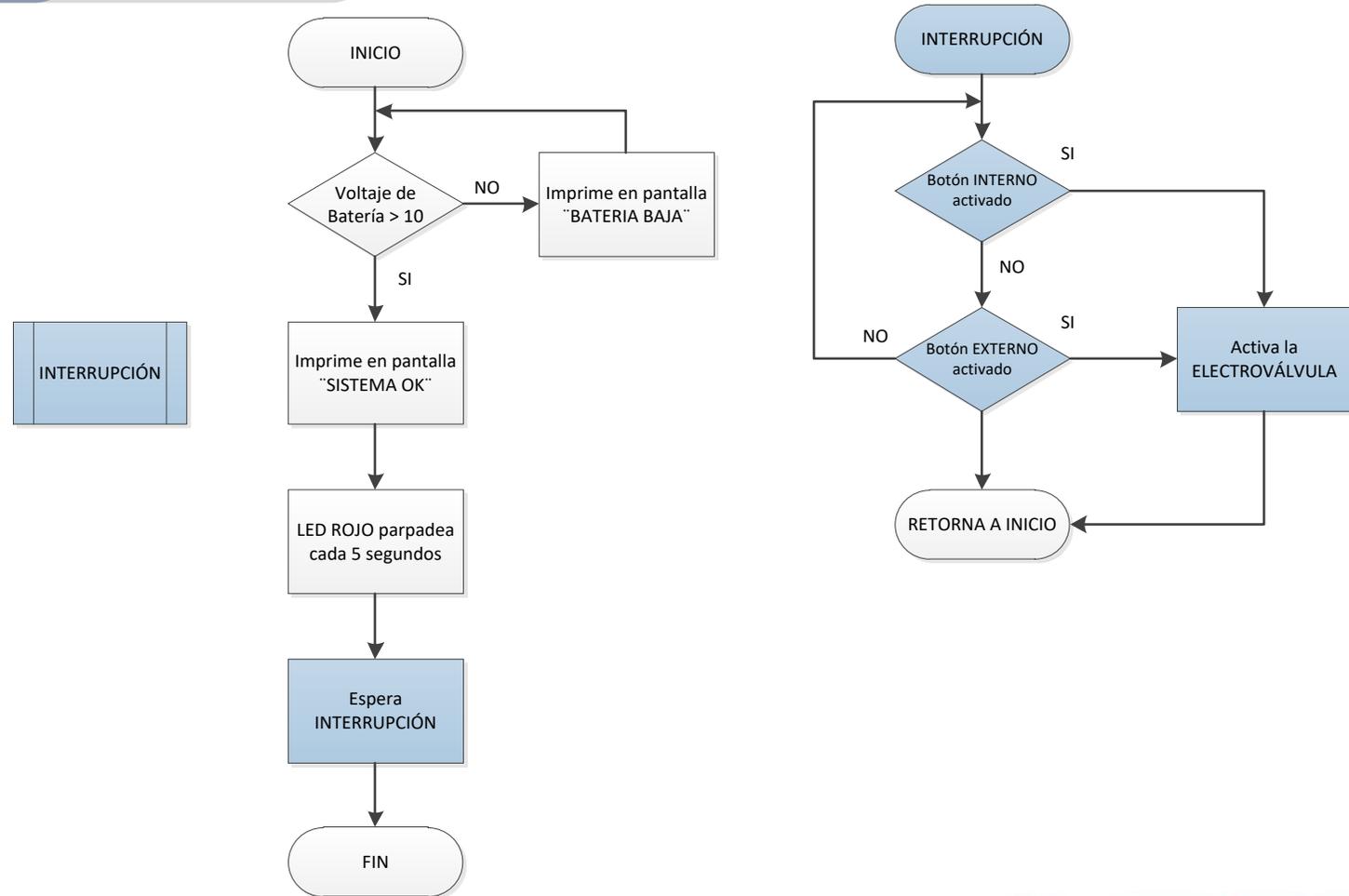
Diagrama de Flujo Posición Prueba



SISTEMA DE ACTIVACIÓN



Diagrama de Flujo Posición Armado



SISTEMA DE ACTIVACIÓN



Entradas y Salidas Arduino Mega

N Puerto	Función	Descripción	I/O
A0	Analógica	Voltaje de Batería	Entrada
D2	Interrupción	Botón Interior	Entrada
D3	Interrupción	Botón Exterior	Entrada
D6	Digital	Electroválvula	Salida
D7	Digital	LED Rojo	Salida
D8	Digital	LCD - RS	Salida
D9	Digital	LCD - E	Salida
D10	Digital	LCD - D4	Salida
D11	Digital	LCD - D5	Salida
D12	Digital	LCD - D6	Salida
D13	Digital	LCD - D7	Salida

Posicion Armado

Posicion Prueba

N Puerto	Función	Descripción	I/O
A0	Analógica	Voltaje de Batería 12 voltios	Entrada
D02	Interrupción	Botón Interior	Entrada
D03	Interrupción	Botón Exterior	Entrada
D22	Digital	LED Naranja	Salida
D23	Digital	Comprobación Electroválvula	Entrada
D24	Digital	Electroválvula	Salida
D40	Digital	LCD - RS	Salida
D42	Digital	LCD - E	Salida
D44	Digital	LCD - D4	Salida
D46	Digital	LCD - D5	Salida
D48	Digital	LCD - D6	Salida
D50	Digital	LCD - D7	Salida

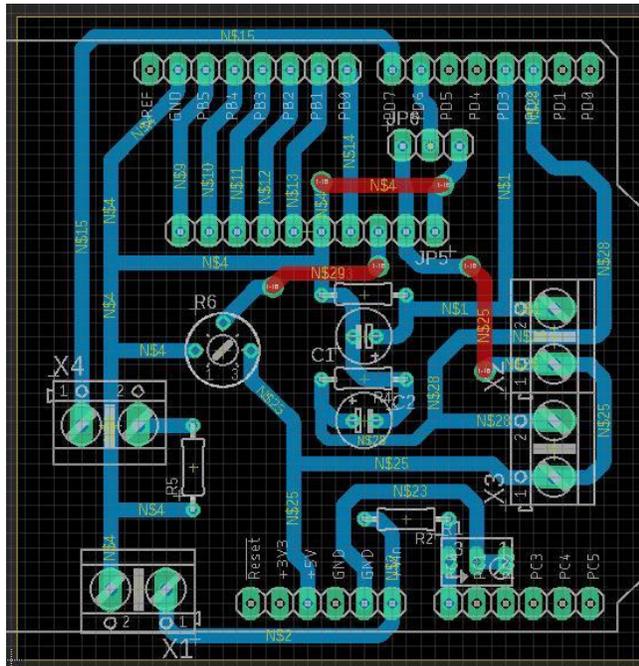


SISTEMA DE ACTIVACIÓN

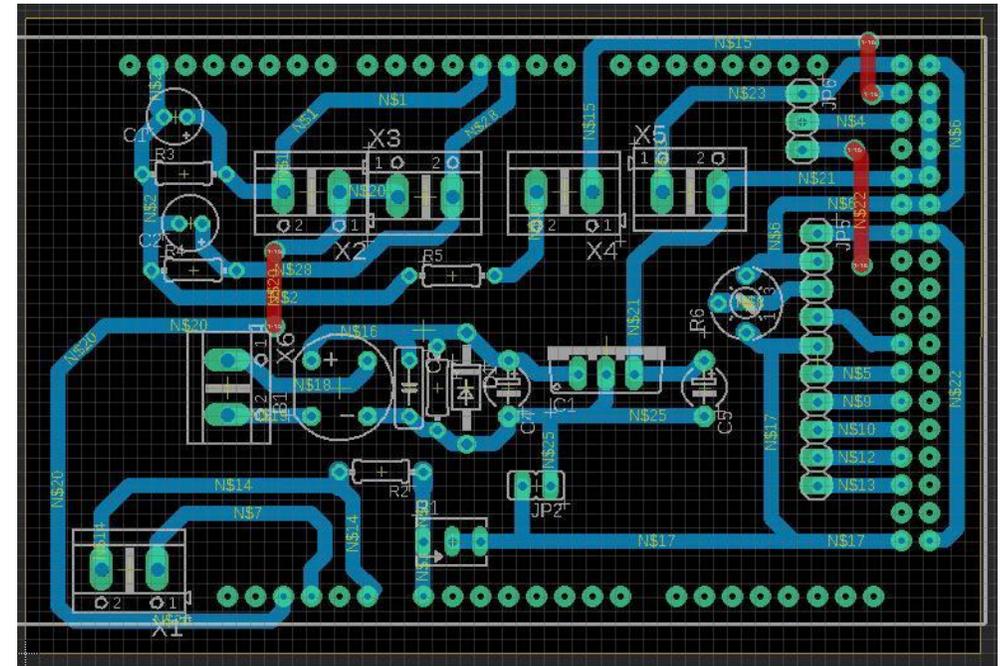


Diseño Placa PCB

Posicion Armado



Posicion Prueba



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA



Elementos del Sistema

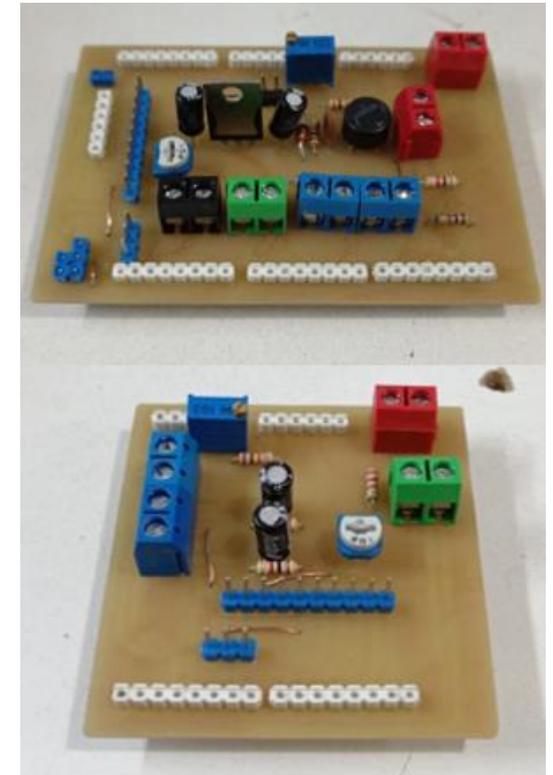
Fuente



Inversor



Placas PCB

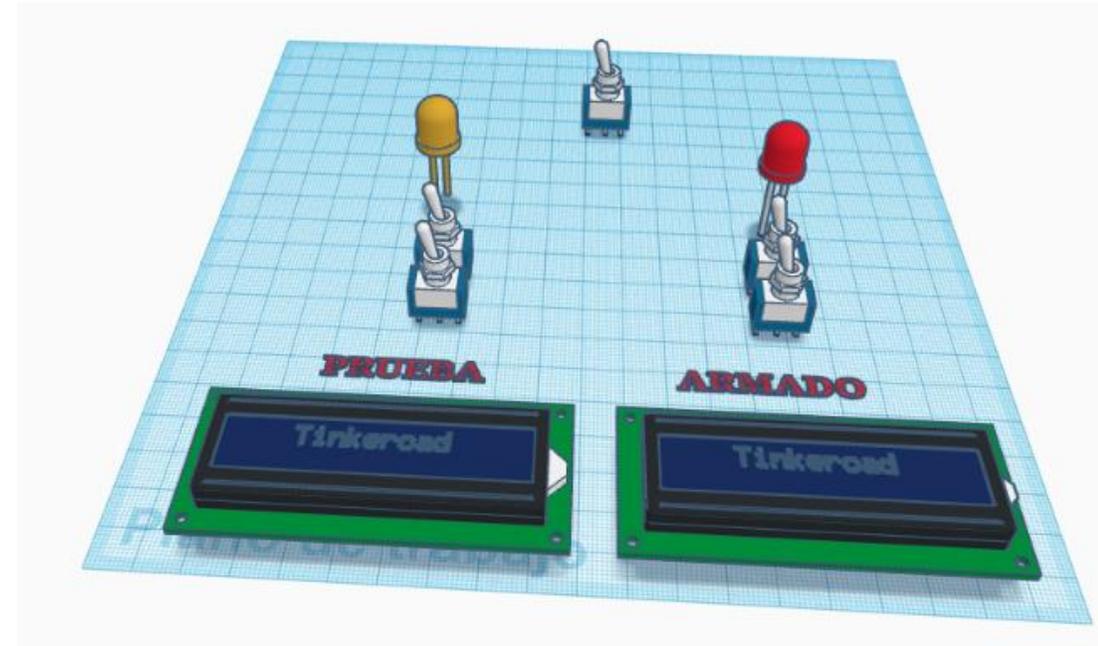


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA



Implementación de Caja Eléctrica



SISTEMA DE EXTINCIÓN ARMADO



Implementación Electroválvula a Tubería



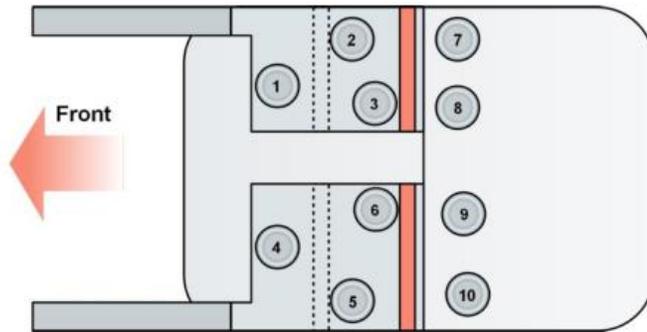
PRUEBAS Y ANÁLISIS



INSTALACIÓN DEL SISTEMA EN BANCO DE PRUEBA



Instalación de las chimeneas de combustible



Tiempo de encendido [mm:ss]

Ubicación de chimeneas

00:00

Motor

03:30

Habitáculo



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Comprobación del Sistema Modo Prueba





Encendido de chimeneas y activación del sistema





Encendido de chimeneas y activación del sistema





Pesos del Cilindro Extintor

Orden / Prueba	1 - Peso [lb]	2 - Peso [lb]	3 - Peso [lb]
Inicio	16.4	16.9	16.7
Final	10.01	10.12	10.17





Tiempos de descarga, extinción y reactivación

Prueba	Tiempo de descarga [ss.ms]
1	15.39
2	14.82
3	16.08

Prueba	Tiempo de extinción [ss.ms]	Tiempo de reactivación [mm.ss]
1	10.49	No existe
2	08.14	No existe
3	07.36	No existe

$$R_1 = 15.39 s + (15.39 s \times 10\%)$$

$$R_2 = 15.39 s - (15.39 s \times 10\%)$$

$$R_1 = 15.39 s + 1.539 s$$

$$R_2 = 15.39 s - 1.539 s$$

$$R_1 = 16.929 s$$

$$R_2 = 13.851 s$$

**Tiempos de
extinción
menores a 11
segundos**



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





- Mediante programación e implementación de componentes electrónicos se desarrolló la correcta visualización y comprobación de errores en el sistema, mejorando los parámetros básicos estipulados en la norma, al implementar una pantalla LCD el usuario puede verificar de manera clara y concisa si existe algún inconveniente dentro del sistema.
- Se desarrollo las pruebas detalladas por la norma FIA 8865-2015 del sistema eléctrico de extinción utilizando el banco de pruebas para simular las condiciones reales de un incendio dentro de un vehículo de competencia modalidad rally.
- Por medio de un análisis de resultados se comprobó que el sistema de extinción cumple con los parámetros que dicta la norma FIA 8865-2015, estos parámetros dictan que el sistema pueda ser activado en cualquier momento, tanto desde el habitáculo como desde la parte exterior del vehículo, el sistema se activa, controla y elimina el fuego en menos de 11 segundos desde su activación.





- Se construyó un sistema ignífugo con activación eléctrica para autos de competencia modalidad rally según la norma FIA 8865-2015, se diseñó un banco de pruebas del habitáculo y el compartimiento motor para la comprobación de sistemas ignífugos para autos de competencia modalidad rally según la norma FIA 8865-2015.
- Se determinó las normativas internacionales y nacionales a las que se rigen los sistemas de seguridad de los vehículos para competencias en la modalidad de rally, la investigación se realizó desde una perspectiva general, normativa internacional FIA, hasta llegar a la perspectiva específica, Norma FIA 8865-2015 aplicada al medio, Reglamento FEDAK.
- A través de los diferentes agentes extintores existentes y disponibles en el Ecuador, se analizó cada uno con el fin de seleccionar el agente más adecuado para el tipo de activación del sistema, tomando en cuenta la relación costo – eficiencia.
- Se investigó el uso de microcontroladores, en específico el software y hardware Arduino, ya que este soporta señales analógicas y digitales, que fueron utilizadas para adaptar los componentes mecánicos al sistema eléctrico – electrónico, logrando así que el sistema se pueda activar de manera eléctrica.
- Por medio de los materiales disponibles en el medio, tanto para la parte mecánica como para la parte electrónica del sistema eléctrico de extinción, se determinó para su uso los que cumplan con los estándares detallados en la normativa FIA 8865-2015.





- Para una futura investigación desarrollar la implementación de sensores de calor en el vehículo para que el sistema se pueda activar de manera automática y no sea necesaria la activación por parte de ningún miembro de la tripulación, ya que en muchos de los casos los ocupantes pueden quedar inconscientes por el impacto.
- Siempre tener presente las normativas tanto nacionales como internacionales, ya que estas dictan de manera específica las características y pruebas que debe pasar el sistema para que pueda ser implementado en vehículos reales.
- Es de vital importancia que el banco de pruebas se desarrolle a escala real ya que solo de esa forma se pueden simular las condiciones reales de un vehículo de competencia de modalidad rally.
- Para la implementación real en un vehículo que el agente extintor sea HFCF, el cual es un agente limpio y funciona de una manera más eficaz en el combate de elementos de riesgo tipo A, el único inconveniente de este elemento es el elevado costo.





- Comprobar cada uno de los elementos electrónicos en el sistema, sobre todo su conexión a GND, ya que se debe tener una conexión de los elementos a GND de Arduino, si no se conectan los elementos electrónicos a GND generado por Arduino, el programa va a presentar fallos en el proceso.
- Para la implementación de manera general, es decir que el sistema funcione en cualquier vehículo que cumpla con las características dictadas por la FIA, se recomienda cambiar el tipo de tubería, por una tubería flexible siempre y cuando cumpla con las propiedades que dicta la norma FIA 8865-2015, el uso de tubería flexible ayudará a que se pueda adaptar sin inconveniente a las geometrías específicas de cada vehículo.
- Para el correcto funcionamiento del sistema electrónico, se recomienda evitar usar la función Delay() en la programación del microprocesador debido a que esta función pone en pausa el programa, ocasionando que la información no se lea en tiempo real.
- Para comprobar futuros sistemas ignífugos realizar un formato tipo check list donde se encuentren todos los parámetros y características que debe aprobar el sistema, con esto se puede estandarizar las pruebas que se realizan en el banco tanto del compartimiento motor como del habitáculo.

