



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Tema:

Implementación de un prototipo de banco de pruebas para el registro de presión, temperatura y vibración de motores cohete

Autores:

Calvache Gutiérrez, Bolívar Javier
Loachamin Muzo, Lenin Alexander

Director:

Ing. Guarderas Burbano, Galo Fernando, Ph. D.

Sangolquí - 2023

CONTENIDO

- 1 Justificación del proyecto
- 2 Objetivos del proyecto
- 3 Descripción de la tobera
- 4 Construcción del Banco
- 5 Instrumentación y sensores
- 6 Programación
- 7 Pruebas y resultados
- 8 Conclusiones

Para el estudio del misil superficie aire (SAM) y la comparación matemática establecida para las toberas se requiere analizar las variables físicas que actúan en los motores de empuje y vuelo del misil. Entre las principales variables se encuentran: la presión, la vibración y la temperatura.

Este banco de pruebas propuesto e implementado será una herramienta imprescindible con la cual monitorear y comparar el comportamiento de la tobera.



Las F.F.A.A. poseen en dotación estos misiles, y se cuenta únicamente con un sistema de diagnóstico de la electrónica del misil. Sin embargo, es necesario integrar un sistema de supervisión y análisis de variables físicas

Objetivo General

Implementar un prototipo de banco de pruebas para el registro de presión, temperatura y vibración de los motores cohete de combustible sólido.

Objetivos Específicos

- Describir el proceso de funcionamiento del motor de vuelo del misil SAM.
- Diseñar los circuitos electrónicos y acondicionar las señales de las variables de presión, temperatura y vibración para la integración y registro de información con software del DAQ.
- Diseñar una interfaz gráfica de usuario (GUI) en Matlab para registrar el comportamiento de las variables de presión, temperatura y vibración generadas por el misil SAM en tiempo real.
- Analizar y determinar las consecuencias e incidencias de los cambios de las variables físicas con los datos obtenidos experimentalmente.
- Documentar la interpretación de los datos adquiridos y determinar la relación entre el modelo matemático establecido para toberas.

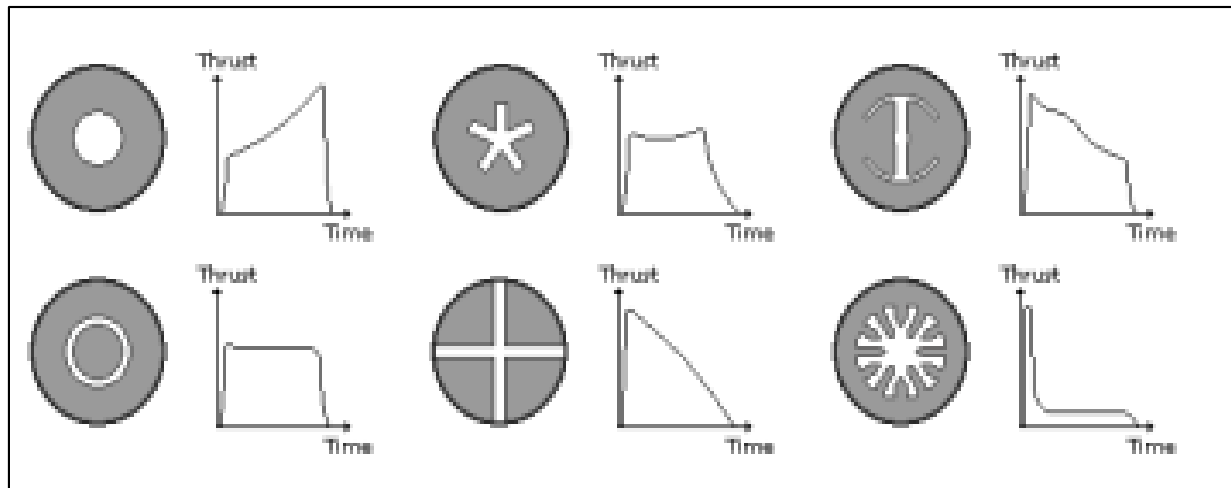
Primera visita técnica



Se evidenció



No se cuenta con planos de conexión eléctrica, electrónica y de tuberías de la estación.



- Diagrama de borneras
- Tablero Eléctrico
- Diagramas Eléctricos (PFD y P&ID)

Primera visita técnica



Se evidenció



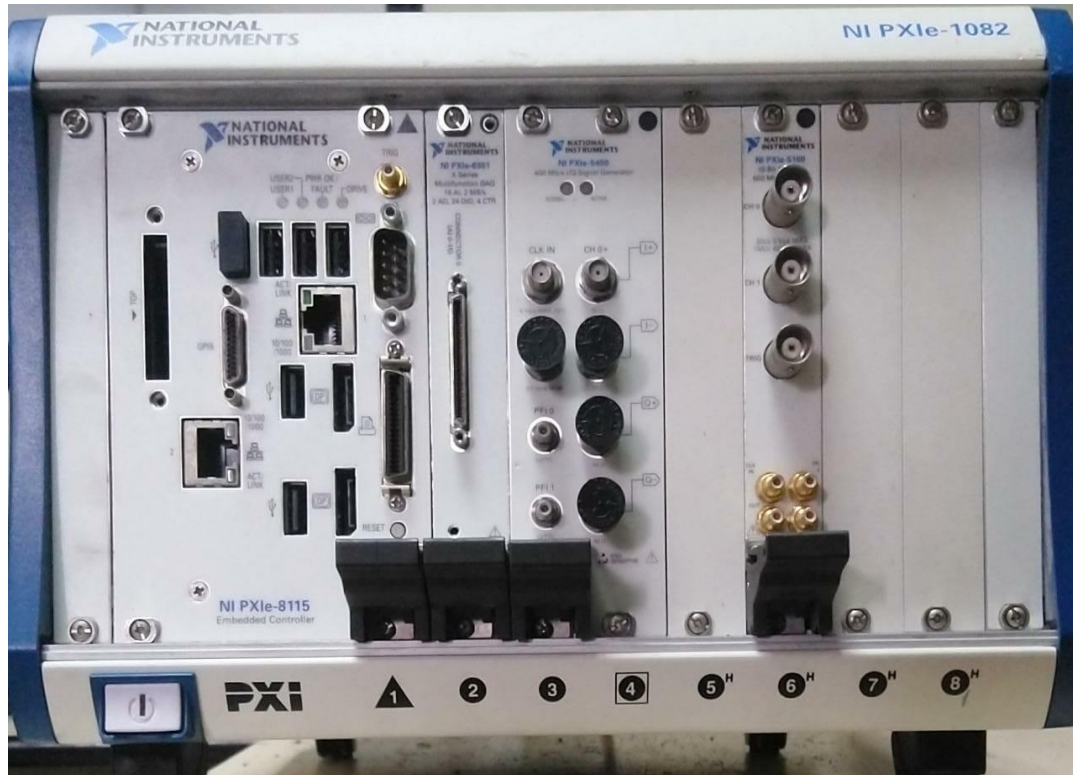
Misil SAM

Partes

Tobera

Constitución Física





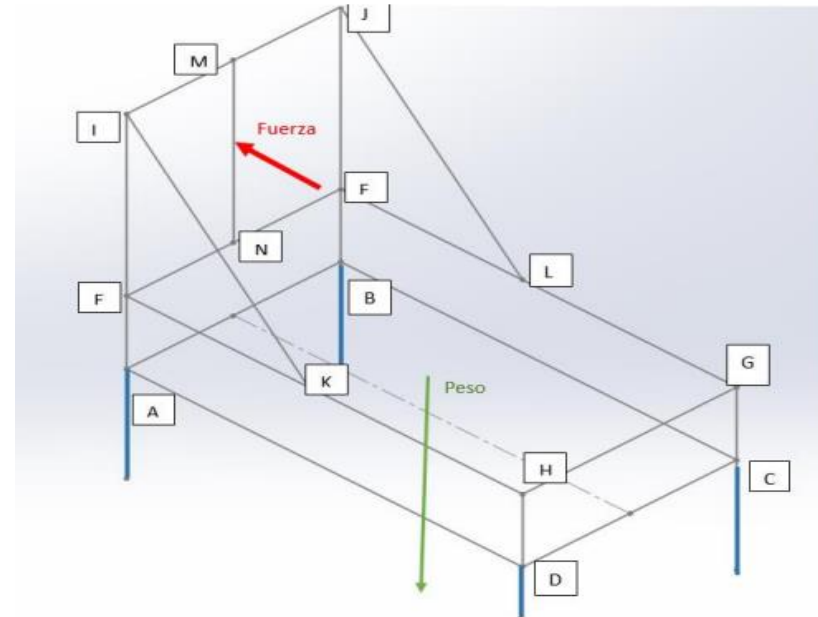
Modelo del BEMCO



DAQ de señales



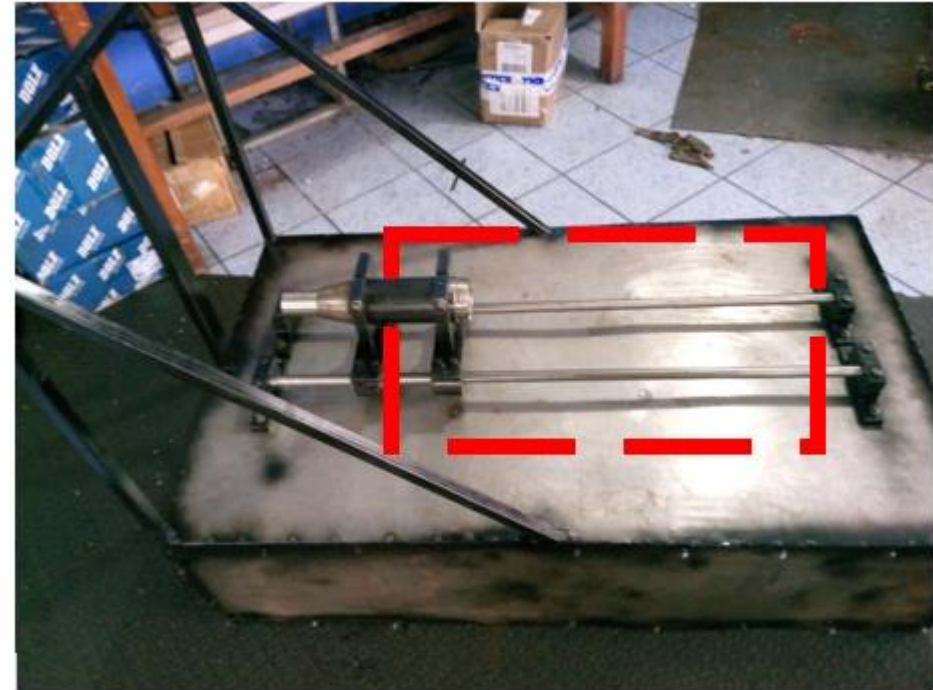
Modelo del BEMCO



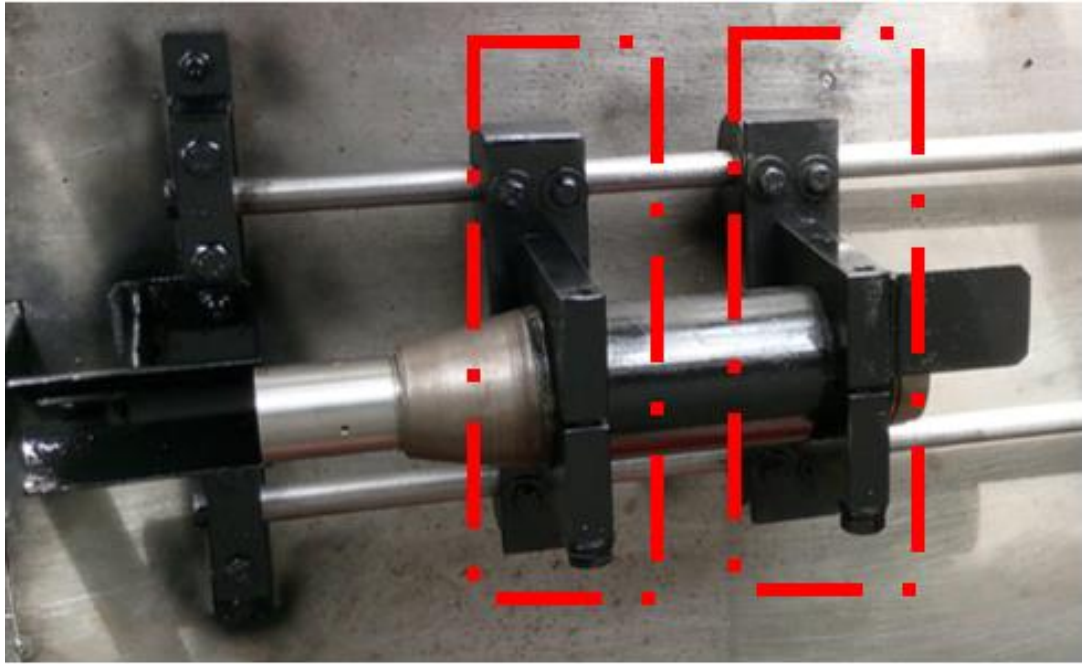
Medidas del Banco



Estructura del BEMCO



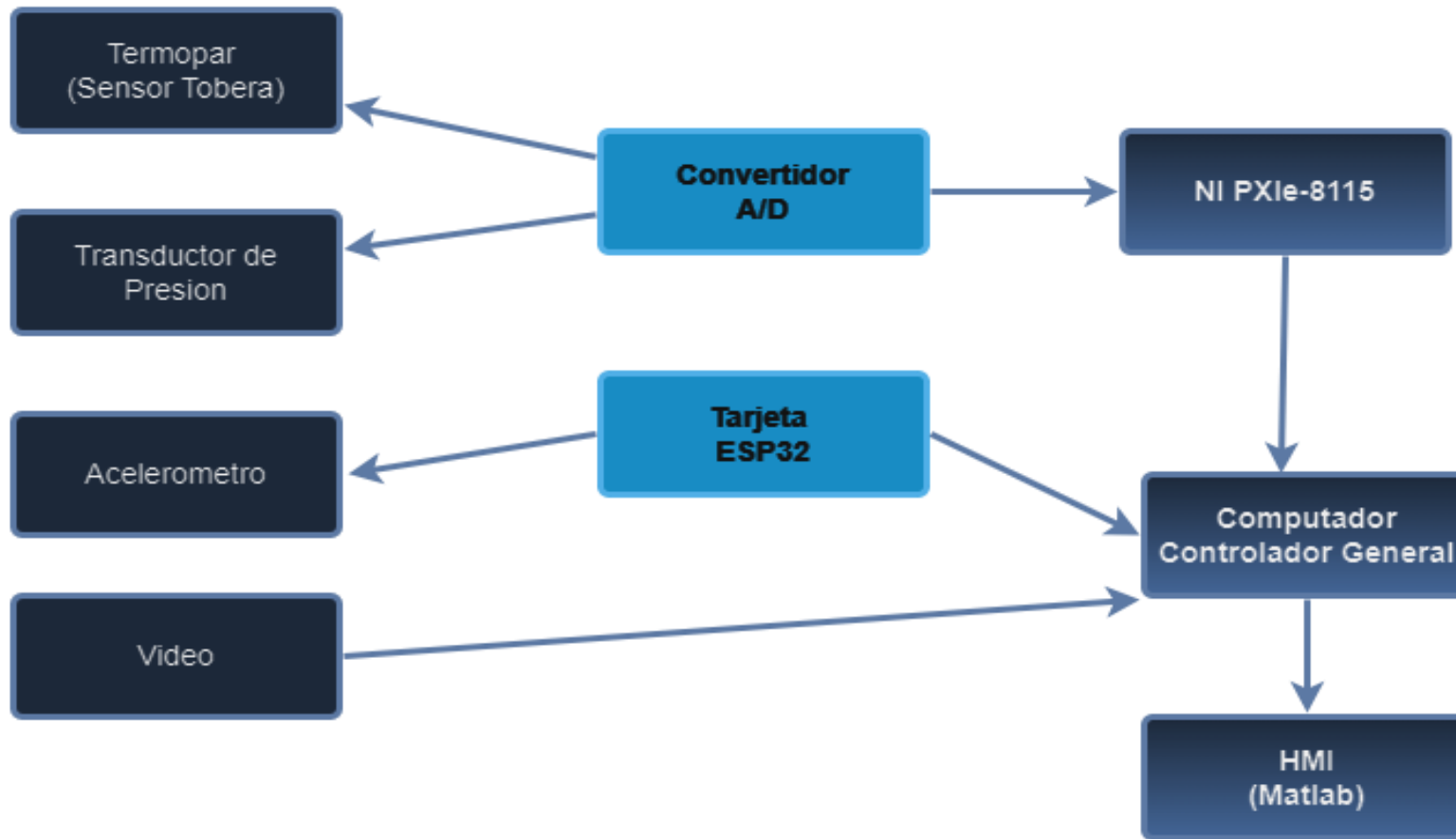
Ejes Transversales



Bridas de Sujeción



Cámara de combustión



Justificación	Objetivos	Descripción	Construcción del Banco	Instrumentación y Sensores	Programación	Pruebas y resultados	Conclusiones
---------------	-----------	-------------	------------------------	----------------------------	--------------	----------------------	--------------

Transmisor de Presión



Transmisor de presión PT200PSIG

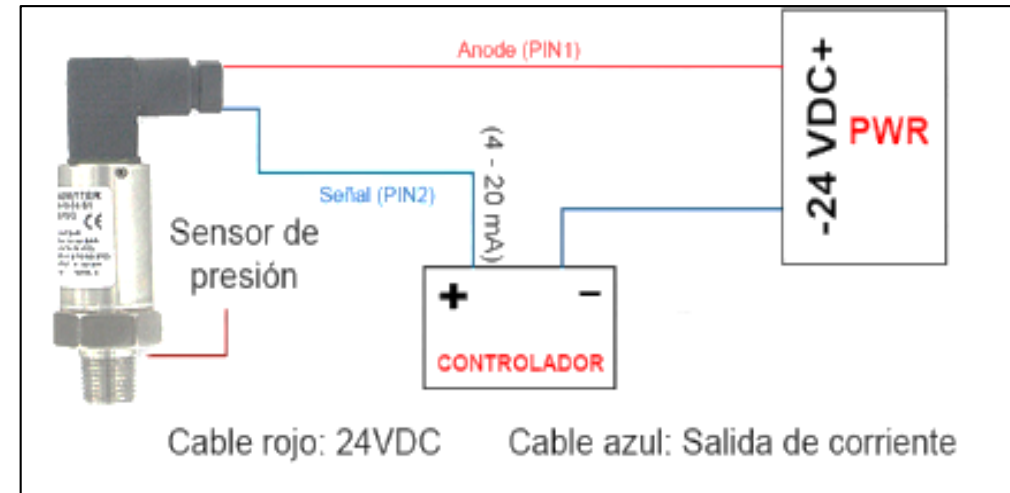
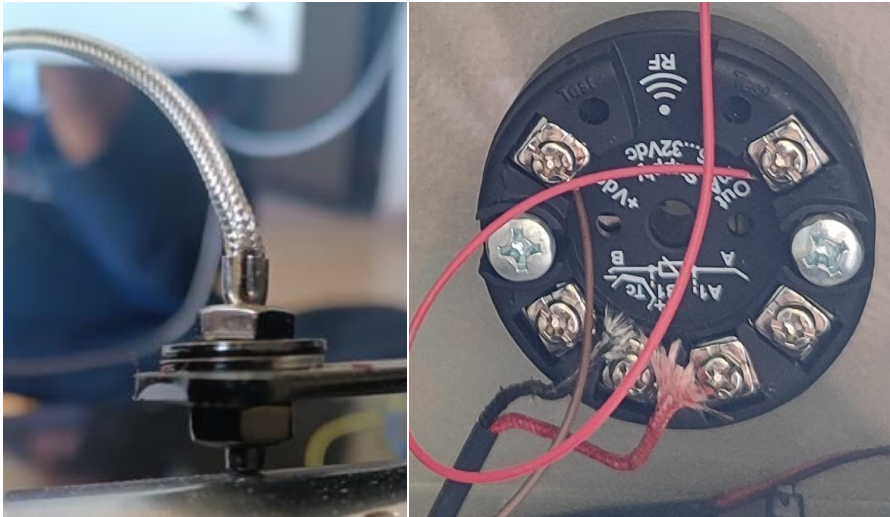


Diagrama de Conexión

Transmisor de Temperatura



Termocupla tipoK

Pastilla Pixyxs

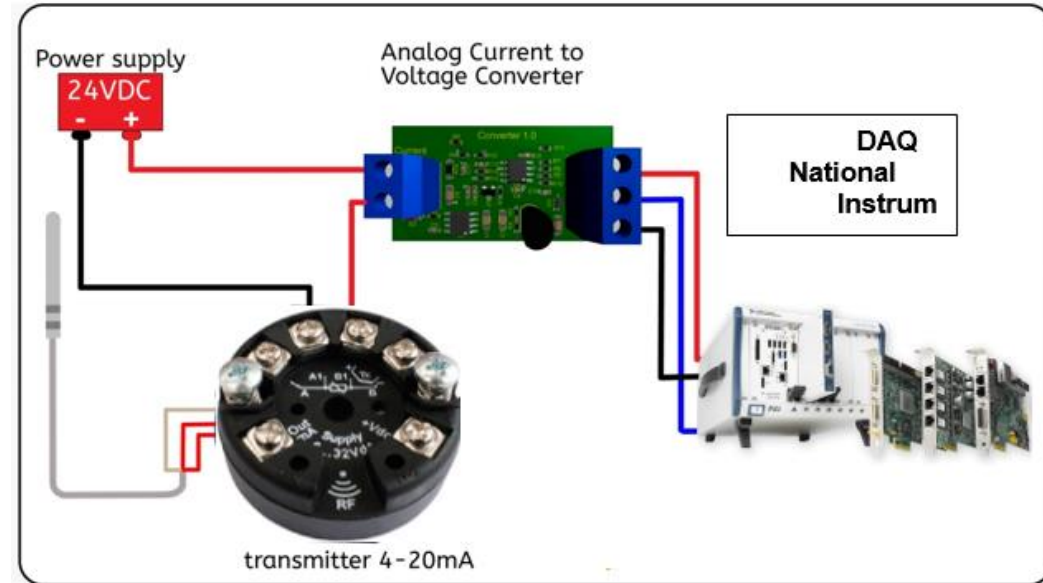
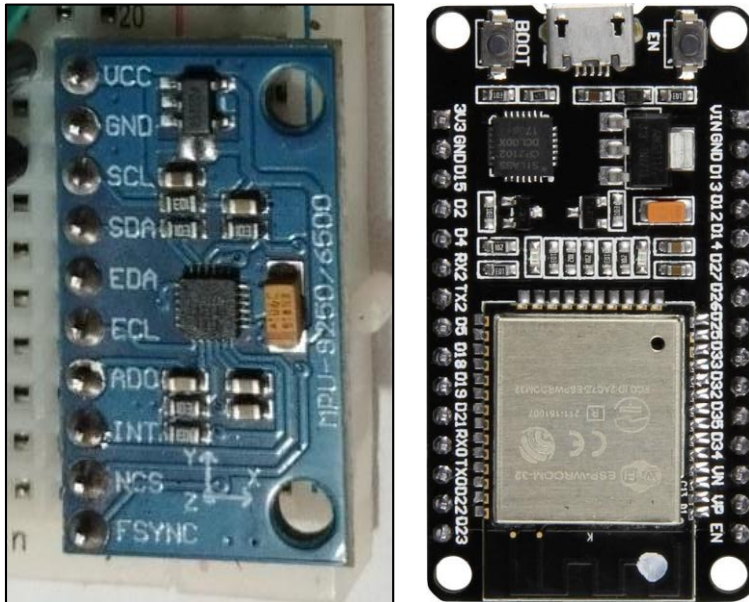


Diagrama de Conexión

Transmisor de Presión



MPU9250 Módulo Acelerómetro
Tarjeta ESP32

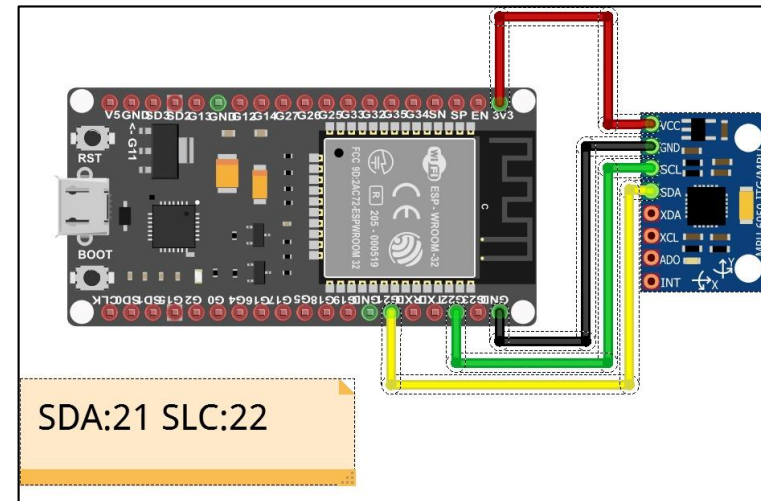
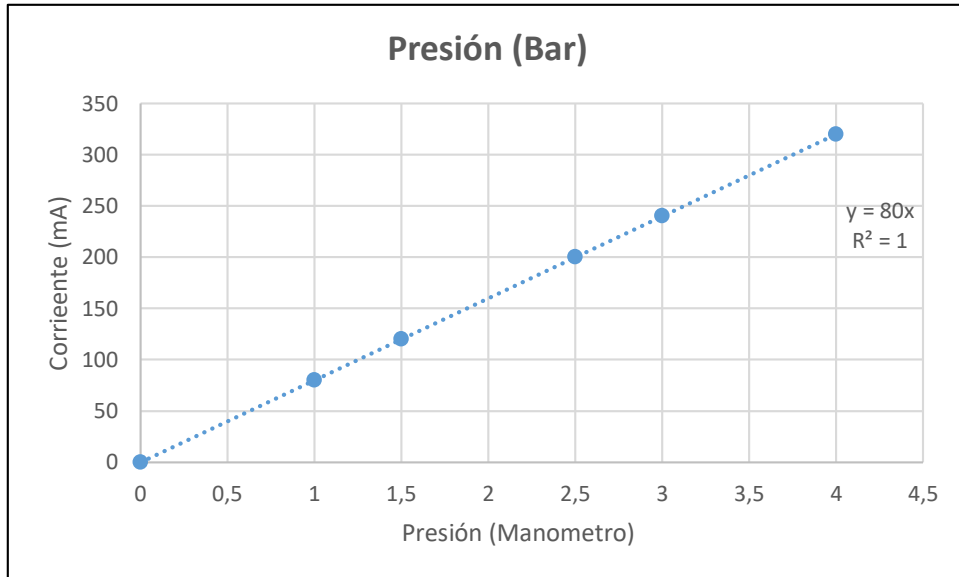


Diagrama de Conexión

Presión



$$y = 0,0384x + 4,0914$$

Temperatura

Sensor		
Par.ID	Name	Value
P_1	Sensor Type	TcK
P_2	Comp	2 Wires
P_3	Output Error	21.0 mA
Filter		
Par.ID	Name	Value
P_4	Filter	Low
Logger		
Par.ID	Name	Value
P_5	Data Logger	Disabled
P_12	TimeShot	1
Min Range		
Par.ID	Name	Value
P_6	Min Range mA	4.000
<input checked="" type="checkbox"/> P_8	Min Range Input	0
Max Range		
Par.ID	Name	Value
P_7	Max Range mA	20.000
P_9	Max Range Input	800.0
Calibration		
Par.ID	Name	Value
P_10	Gain	1
P_11	Offset	0.0

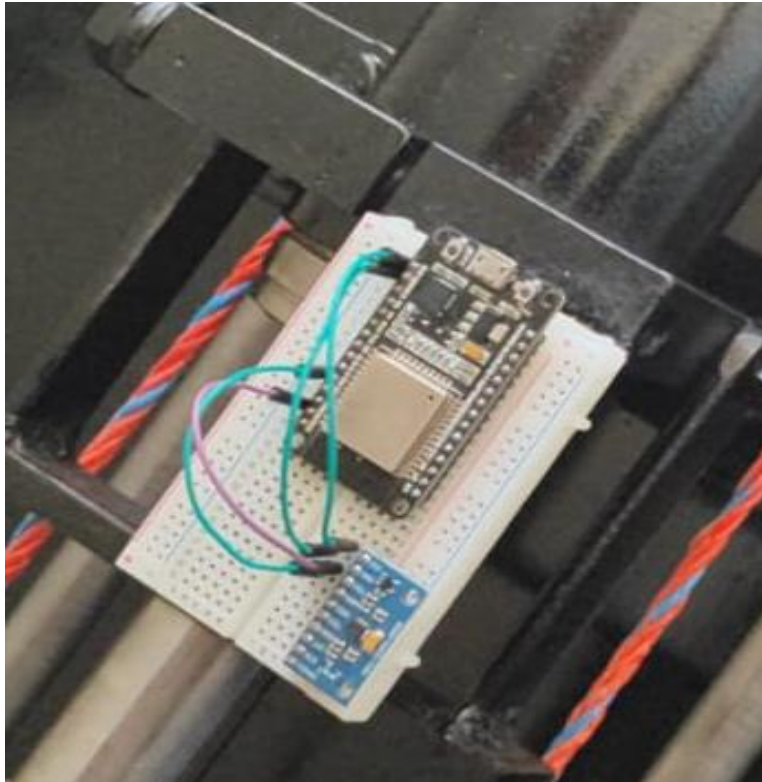
Montaje de Temperatura



Montaje de Presión



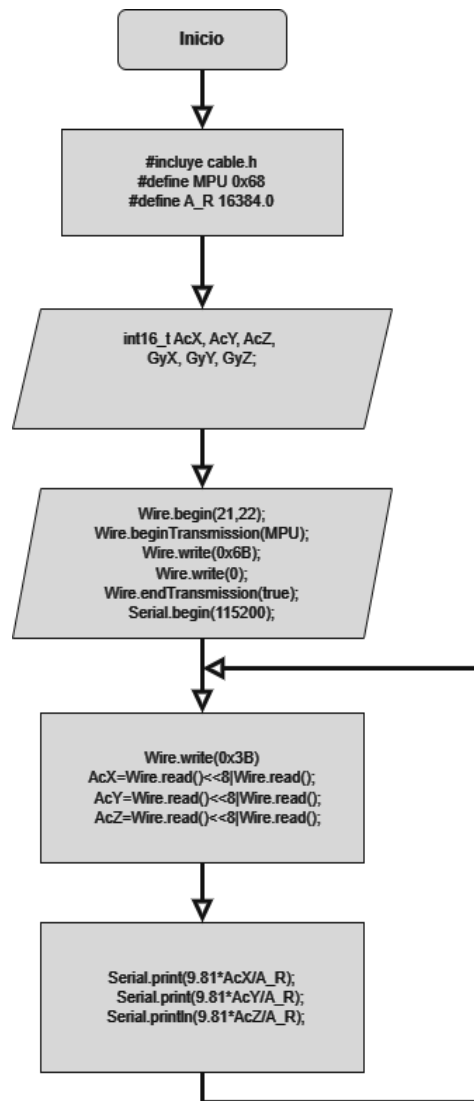
Montaje de Acelerómetro



Montaje de Presión



Diagrama de Flujo Acelerómetro



```

% Configuración del puerto serie
port = 'COM3'; % Cambiar al puerto correspondiente
baudrate = 115200;

% Abrir el puerto serie
s = serial(port, 'BaudRate', baudrate);
fopen(s);

% Variables para almacenar los datos
accelerationX = [];
accelerationY = [];
accelerationZ = [];

% Número de muestras a recibir
numSamples = 600;

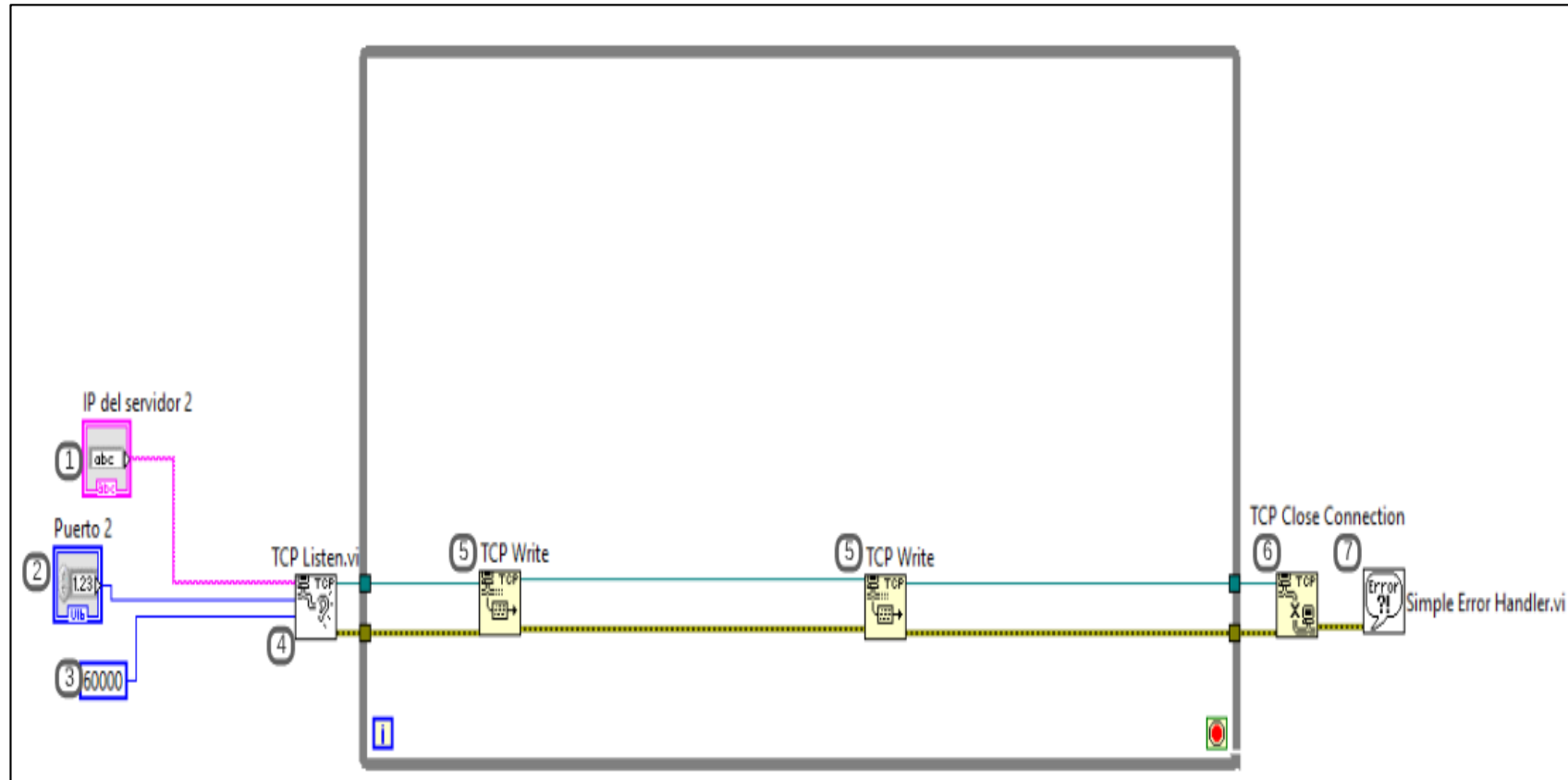
% Recepción de los datos
for i = 1:numSamples
    % Leer la línea de datos desde el puerto serie
    data = fscanf(s, '%s');

    % Analizar los valores separados por comas
    values = strsplit(data, ',');

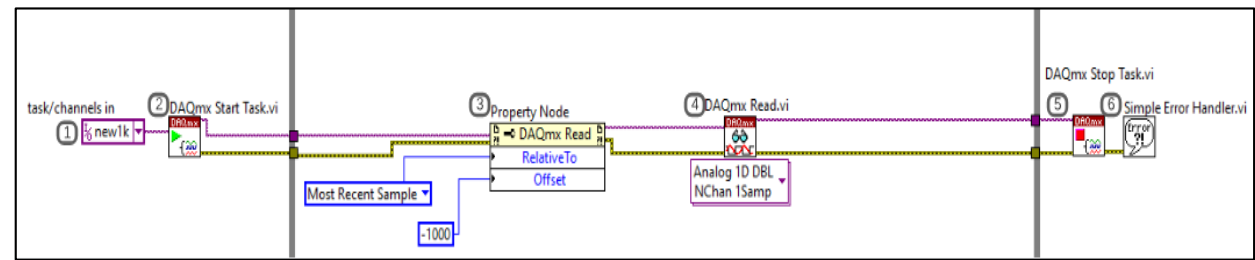
    % Almacenar los valores en las variables correspondientes
    accelerationX(i) = str2double(values{1});
    accelerationY(i) = str2double(values{2});
    accelerationZ(i) = str2double(values{3});

    % Graficar los datos en tiempo real
    plot(accelerationX, 'r.-');
    hold on;
    plot(accelerationY, 'g.-');
    plot(accelerationZ, 'b.-');
    hold off;
    legend('Aceleración X', 'Aceleración Y', 'Aceleración Z');
    xlabel('Muestras');
    ylabel('Aceleración');
    drawnow;
end
V= [accelerationX.', accelerationY.', accelerationZ.'];
  
```

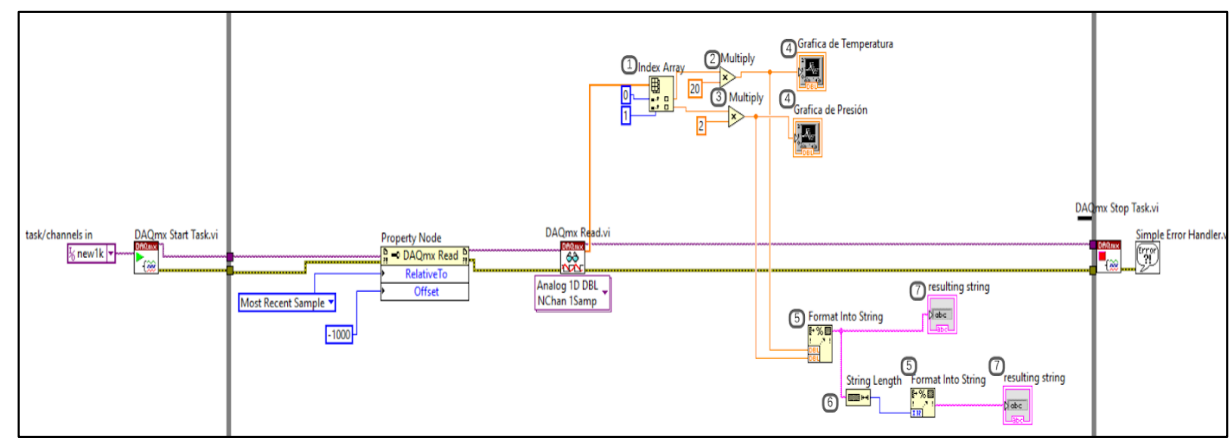
Comunicación cliente-servidor



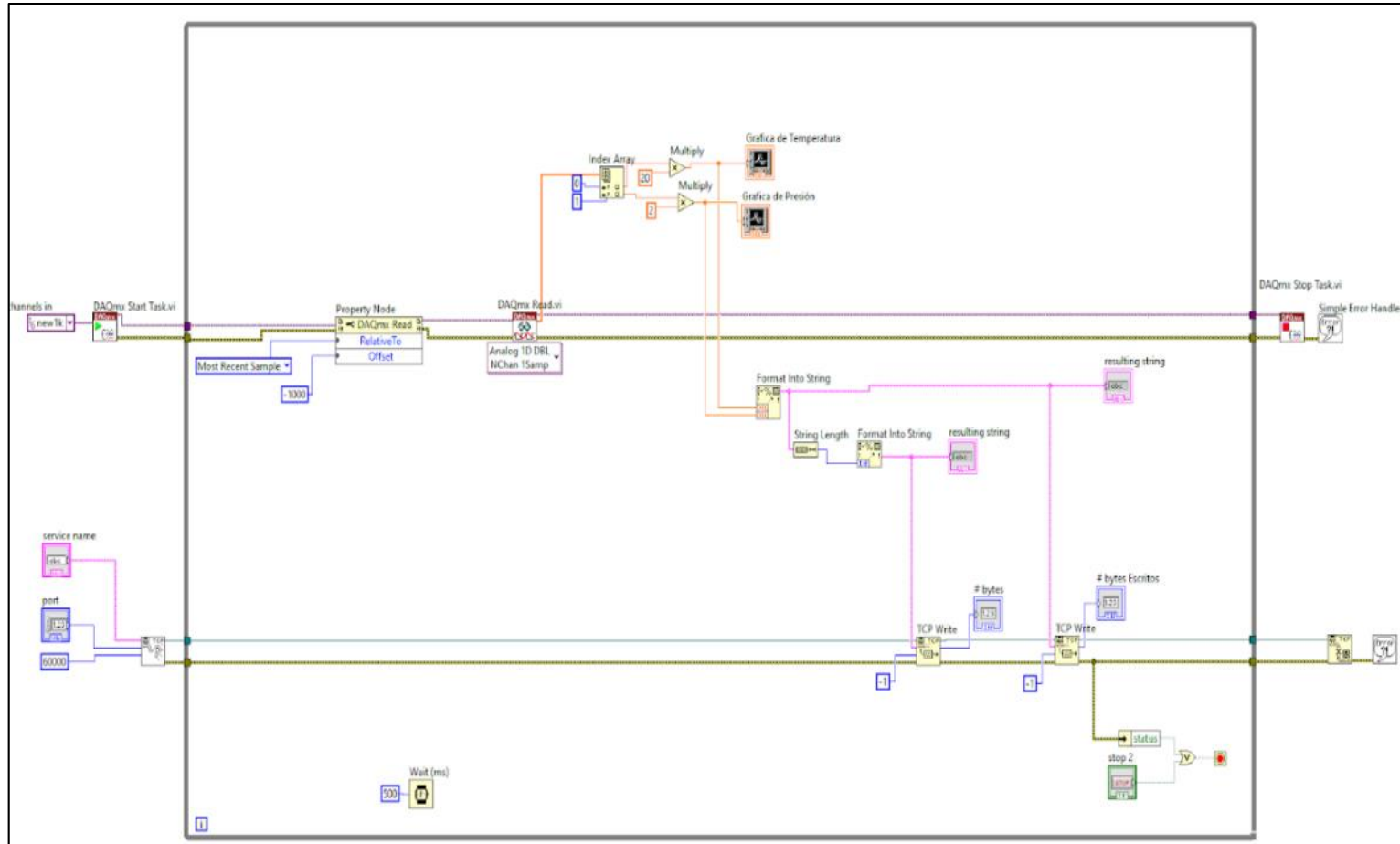
Adquisición de Datos



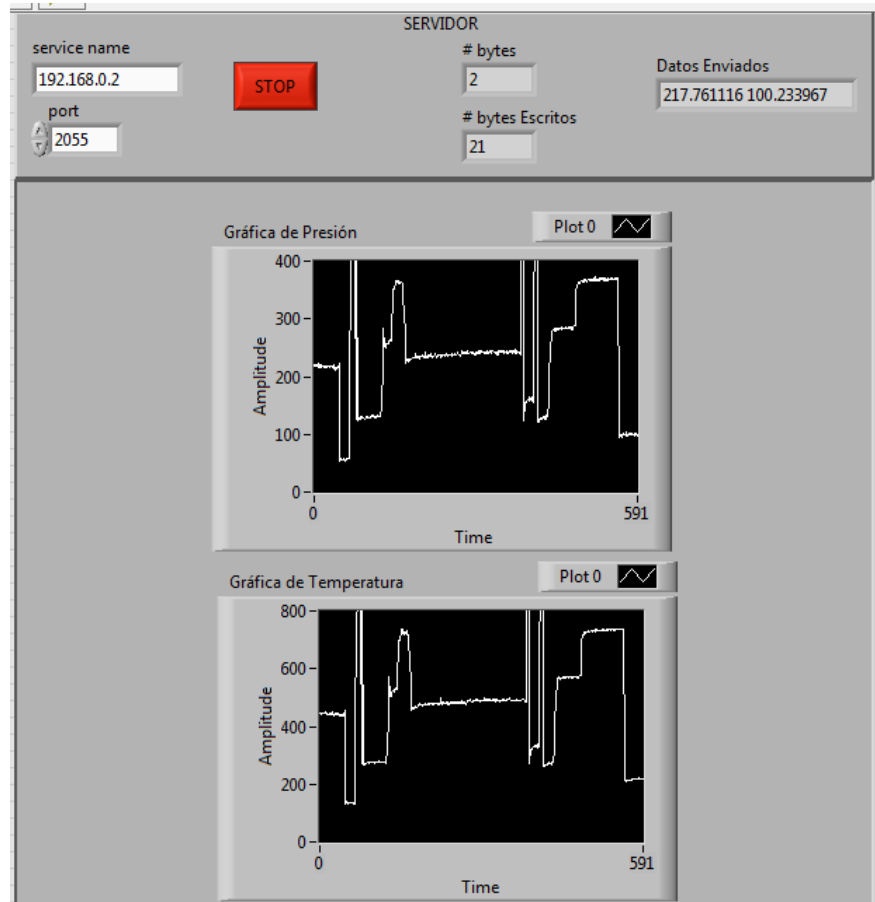
Conversión de unidades y linealización



Interfaz gráfica del servidor



Pantallas diseñadas



Interfaz gráfica del servidor

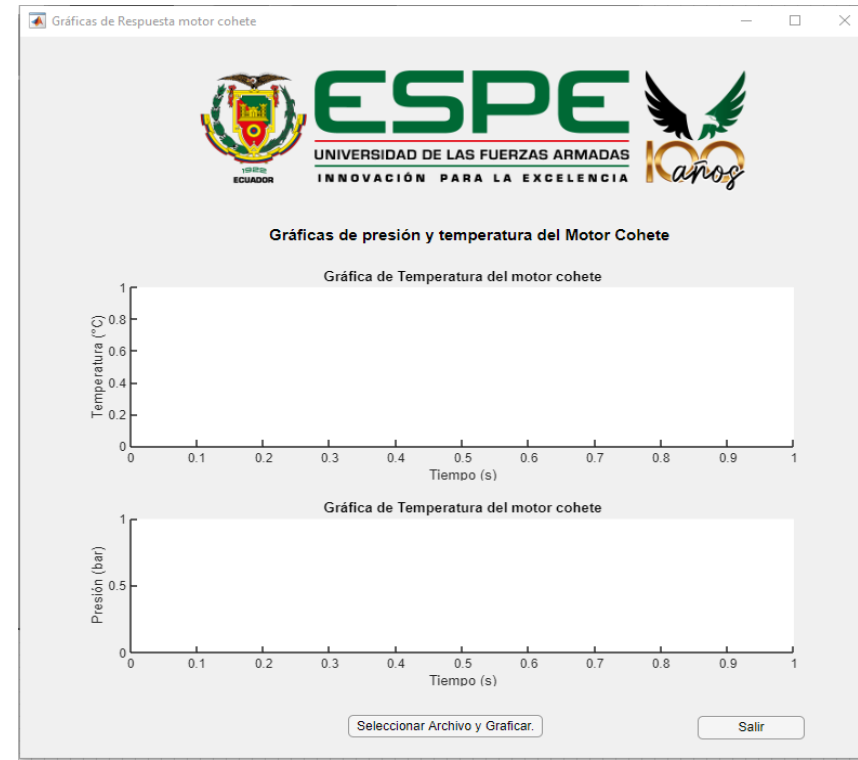


Pantalla Principal

Pantallas diseñadas



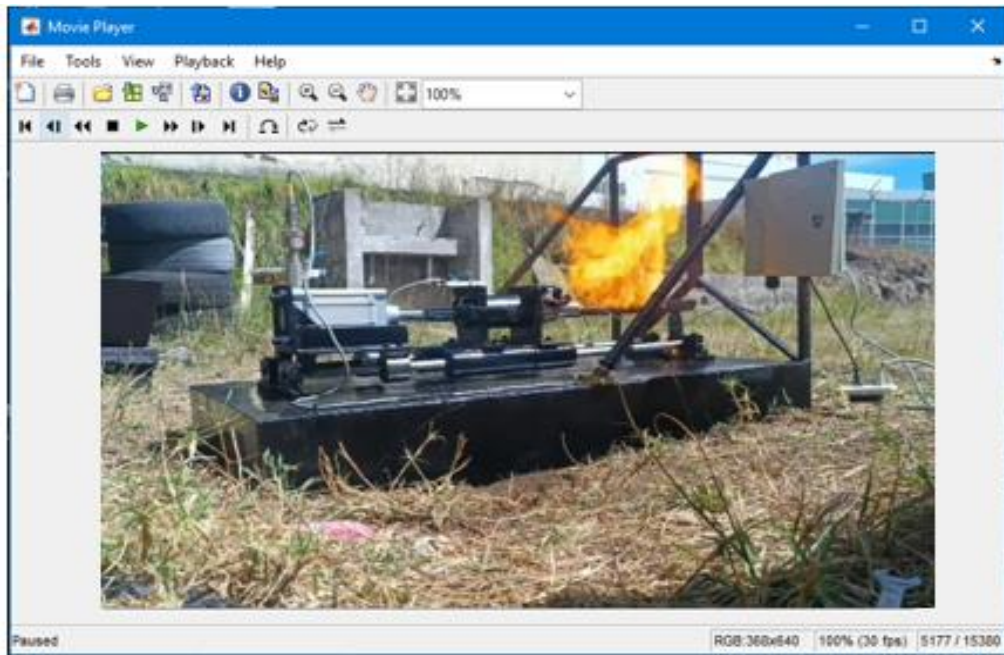
Pantalla Registro de Video



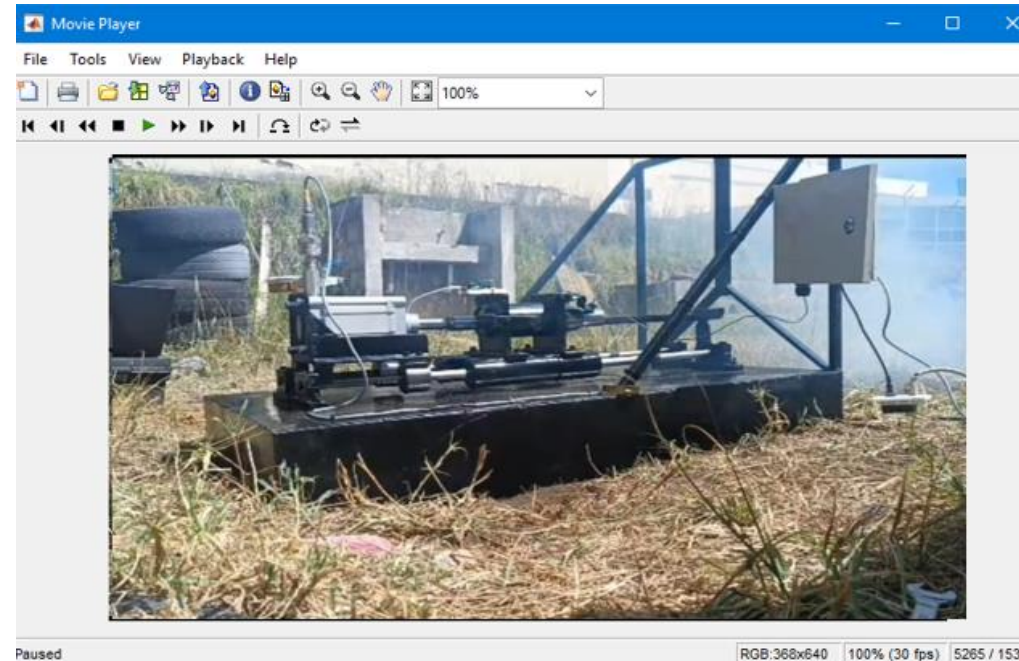
Graficas de Presión y Temperatura

Registro en Video

Durante el Ensayo

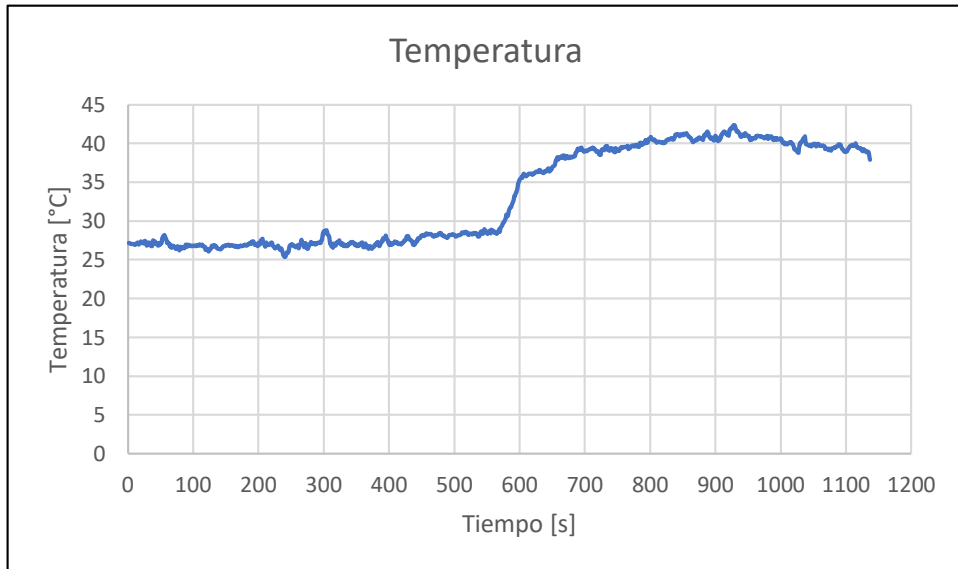


Finalizando el Ensayo

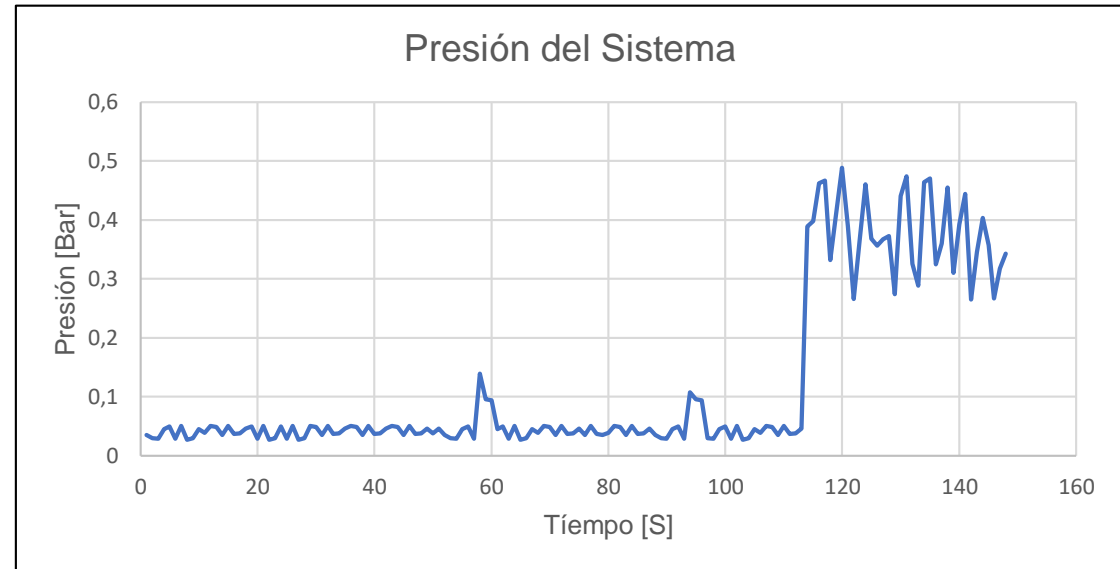


Curvas Representativas

Temperatura

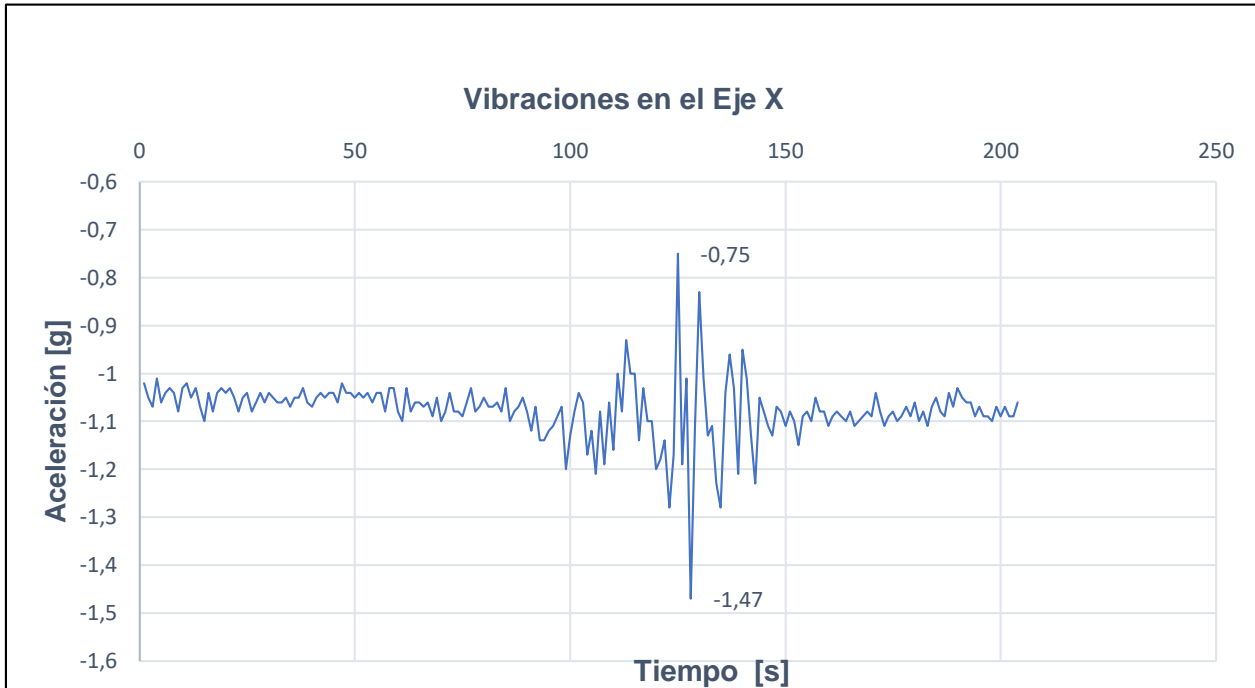


Presión

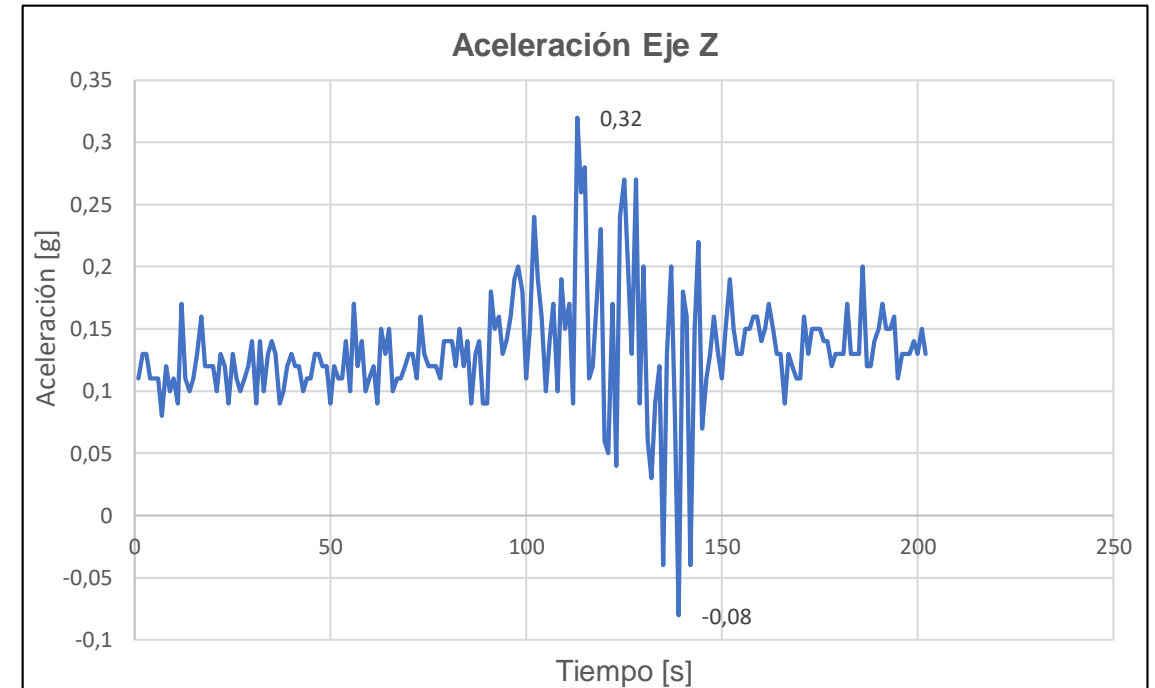


Acelerómetro

Eje X

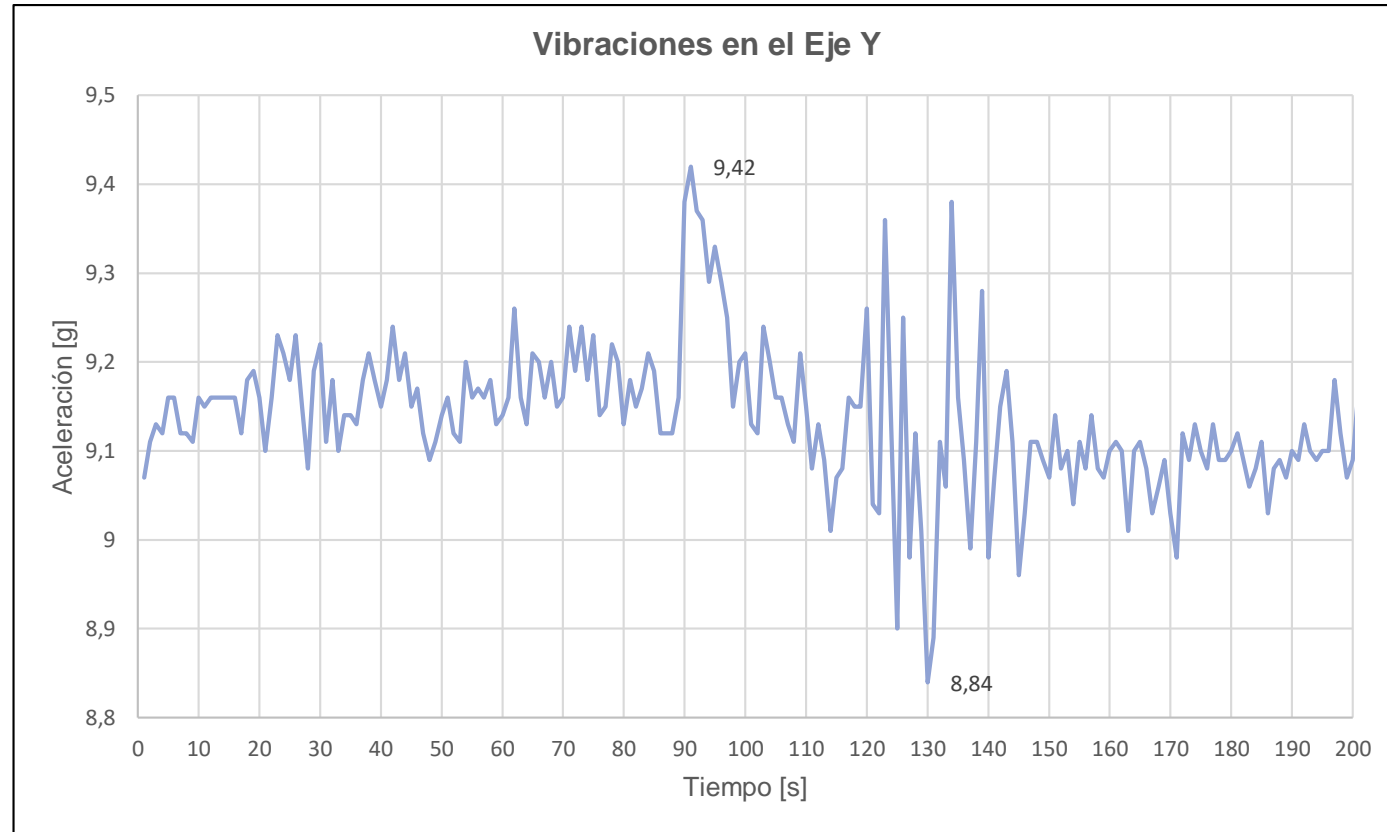


Eje Z



Acelerómetro

Eje Y



Conclusiones

- Se implementó el prototipo del banco de pruebas horizontal con medidas de 120 cm x 70 cm x 90 cm, el proceso de diseño y construcción fue esencial en el producto final, se desarrollaron varias etapas de diseño, selección de materiales y subsistemas mecánicos hasta lograr el BEMCO deseado. El sistema de anclaje es una fosa de 15 cm al suelo y asegurados en todos los laterales por varillas enterradas para asegurar una buena adquisición de datos.
- La instrumentación de las variables físicas en el caso de la temperatura se usó una termopila tipo K con rango de 0 a 100 °C conectada a una pastilla como transmisor de temperatura Pixyxs, para la presión se usó un transmisor de presión de 0 a 13 bares conectado a un conversor de corriente a voltaje, para las vibraciones se usó el MPU9250 que puede detectar la aclaración de los 3 ejes coordinados junto al ESP32 para enviar los datos mediante I2C al computador.

Conclusiones

- Los circuitos electrónicos fueron diseñados y desarrollados para adquirir y acondicionar el transmisor de presión PT200psig, la termocupla tipo K y el MPU-9250. El uso y programación a través del convertidor TC-RTD y la conexión al dispositivo TP4-MC18, se integran fácilmente con el módulo de adquisición de datos NI Pxl-6361. Esto garantiza la captura de información relevante con precisión y confiabilidad durante las fases de reposo y experimentación del misil.
- La interfaz gráfica de usuario desarrollada tanto en LabView como en Matlab, son extremadamente funcionales y fácil de usar, permite el seguimiento y el registro en tiempo real del comportamiento de las variables de presión, temperatura y vibración producidas por el misil SAM en las fases de reposo y experimentación. Las interfaces facilitan la visualización, carga y reproducción de archivos y correspondientes al análisis instantáneo de los datos recopilados, lo que proporciona una valiosa herramienta para la toma de decisiones y el desarrollo del rendimiento en fases de prueba.

Conclusiones

- Los datos recopilados por la termocupla tipo K ubicada en la parte superior de la tobera del sistema experimentó una temperatura inicial de 27 °C ascendiendo hasta los 43 °C, seguido de un descenso gradual con el tiempo. Sin embargo, debido a que la termocupla no está en contacto directo con la llama y otros factores externos pueden influir en las mediciones térmicas, es importante tener precaución al interpretar estos resultados.
- Durante las pruebas realizadas en el misil superficie aire (SAM), se utilizó las cámaras de video proporcionadas por los celulares para realizar un registro audiovisual minucioso. Estas grabaciones han sido cruciales para la observación y el análisis del comportamiento de nuestro banco de pruebas, ya que permiten encontrar posibles mejoras y detectar cualquier anomalía en el sistema.

Conclusiones

- Se observó que durante el proceso de combustión del motor cohete, al empujar el pistón, la presión aumentaba gradualmente. No obstante, se determinó que llegó a un momento crucial en el que ya no pudo obtener mayor fuerza. La presión alcanzó un máximo de 0.5 bar durante este ciclo de combustión, lo que equivale a 7.25 psi y 50000 Pa. La presión máxima de 0.5 bar es crucial porque indica el rango operativo en el que se puede obtener la máxima fuerza propulsora. Las vibraciones en el eje Y son considerablemente mayores a los ejes X y Z con un punto máximo de 9.42 g y un punto mínimo de 8.84 g en relación al eje de 9.1.
- Los modelos matemáticos de las toberas serán representados por funciones de transferencias, para la temperatura fue necesario realizar 32 iteraciones, donde se determinó que el mejor fit se logra con 2 ceros y 4 polos, asimismo, para la presión fue necesario 44 iteraciones, donde se determinó que el mejor fit posee 2 ceros y 3 polos. Al obtener las funciones de transferencia se obtiene más información del comportamiento del BEMCO en relación a las variables medidas.

Recomendaciones

- Se recomienda un estudio de los materiales del BEMCO que soporte el esfuerzo del ensayo, soldadura de alto nivel, materiales livianos para sujetar la cámara de combustión, colocar bocines en los ejes para eliminar fuerza de rozamiento, además, cubrir con pintura anticorrosiva para alargar la vida útil del banco de pruebas.
- Realizar las pruebas del ensayo siguiendo el protocolo de seguridad, siempre con un extintor retirado el seguro listo para actuar, cuidar la integridad de los alrededores y durante la prueba ubicarse a una distancia prudente.

Recomendaciones

- Para garantizar un funcionamiento seguro y adecuado en futuros lanzamientos, es fundamental tener en cuenta el valor de la presión máxima que puede generar el misil (SAM) para optimizar la eficiencia y el rendimiento del sistema.
- Es recomendable realizar análisis adicionales y considerar otras variables externas como el calor, el viento y los rayos solares que van directo a la termocupla tipo K para una comprensión más completa y precisa del comportamiento térmico del sistema.

¡Gracias!