



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

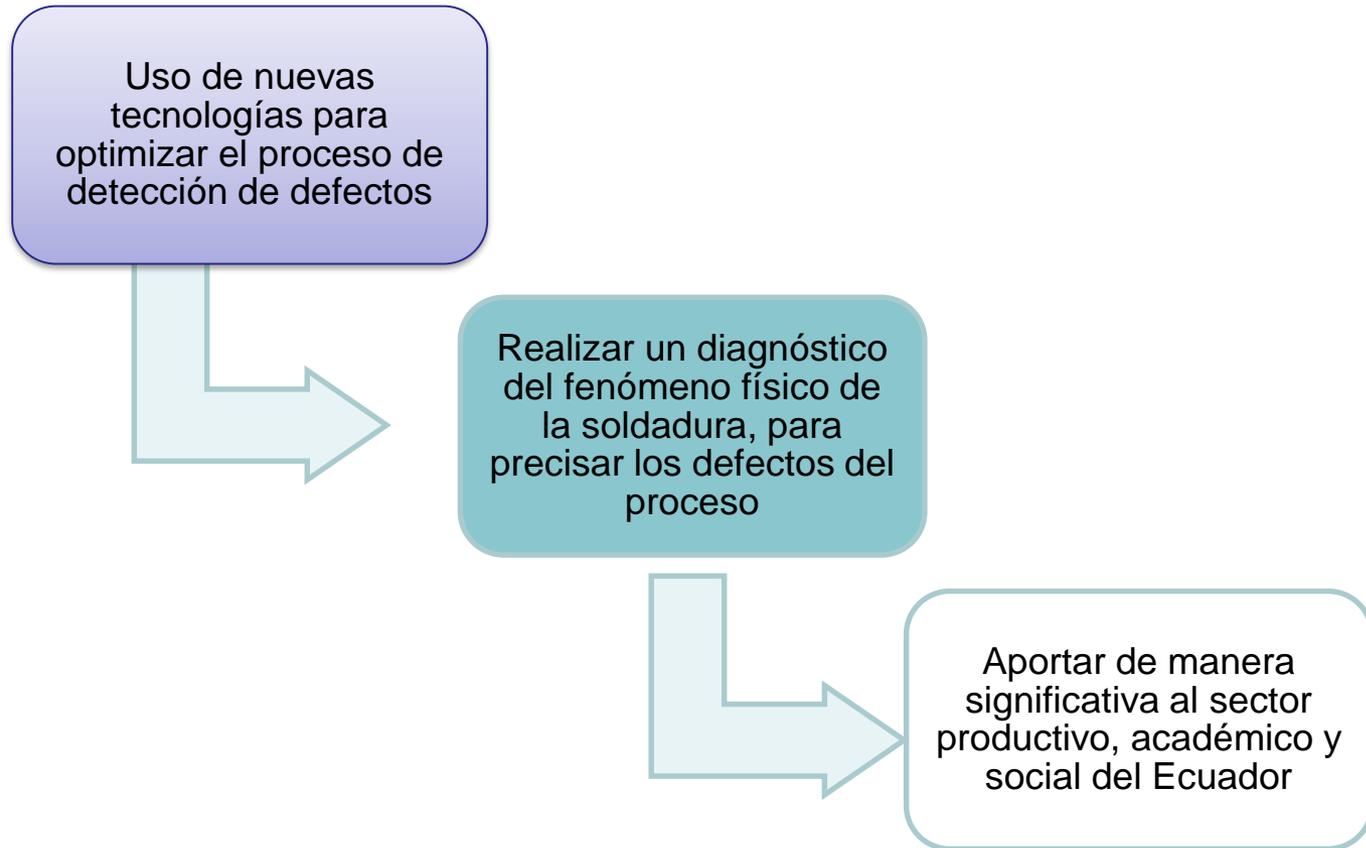
# “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA DETECTAR DEFECTOS DE SOLDADURA GMAW POR MEDIO DE EMISIÓN ACÚSTICA MEDIANTE K-MEANS”

**AUTOR: CONDE JORDÁN, SANTIAGO PAUL**

**ING. MANJARRÉS ARIAS, FÉLIX JAVIER M. SC.**



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA



# OBJETIVOS

## Objetivo General:

- Diseñar y construir un sistema mecatrónico para detectar defectos de soldadura GMAW por medio de emisión acústica mediante k-means.



## *Objetivos Específicos:*

- Recopilar información científica para el diseño y desarrollo del estudio basado en diagnóstico de soldadura por emisión acústica.
- Realizar el modelado y construcción de la estructura que permita la inspección de la soldadura GMAW.
- Diseñar un algoritmo de control y clasificación con un entorno para manejar desde un computador el sistema de inspección construido para la evaluación del material.
- Aplicar el método de clasificación k-means que se utilizan en la disciplina del reconocimiento de fallas por medio de patrones.
- Probar el sistema con diferentes conjuntos de datos para poder estudiar el desempeño del mismo.



# CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E INVESTIGACIÓN

## Soldadura



## Tipos de Soldadura

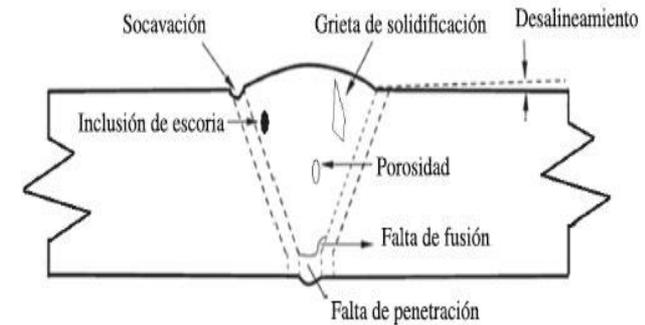
- Soldadura por fusión
- Soldadura de estado sólido

## Defectos de Soldadura

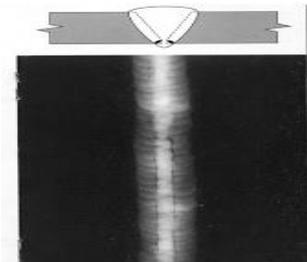
### Cavidades y poros



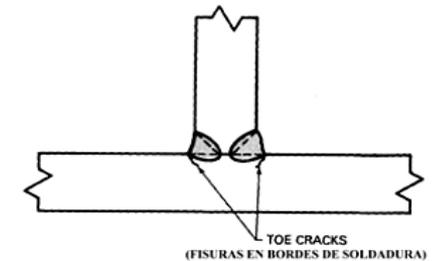
### Fusión incompleta



### Inclusiones



### Fisuras



# Ensayos no destructivos

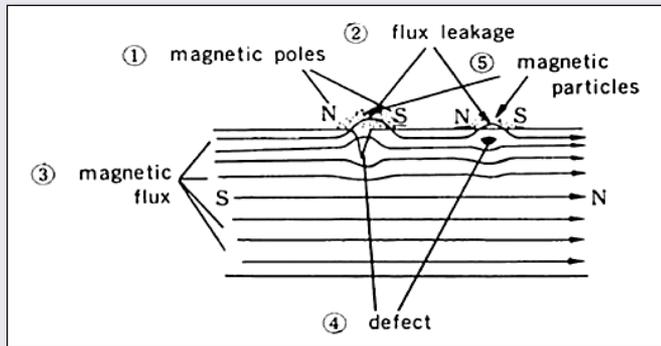
## Ensayo visual



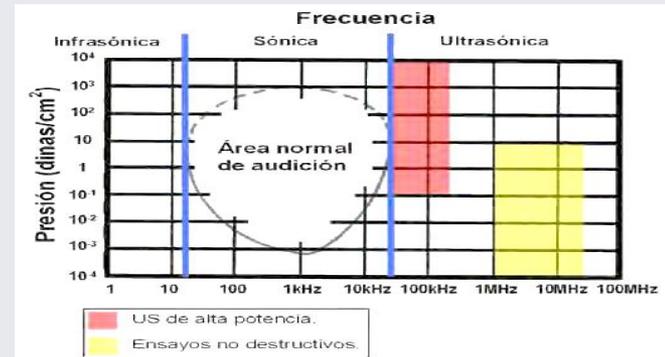
## Ensayo con líquidos penetrantes(PT)



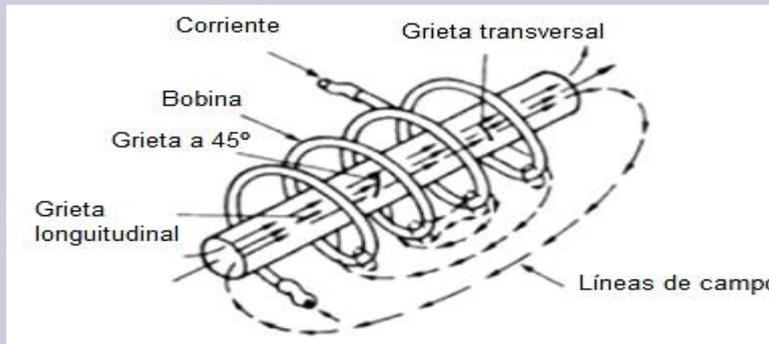
## Partículas Magnéticas



## Ensayos con ultrasonidos

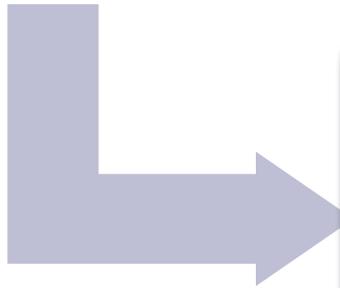


## Ensayo Electromagnético



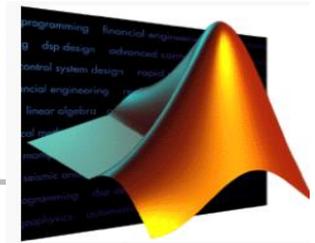
## Algoritmo K-Means

- Sigue un procedimiento simple de clasificación de un conjunto de objetos en un determinado número de K de clústeres, K determinado a priori.



## Matlab

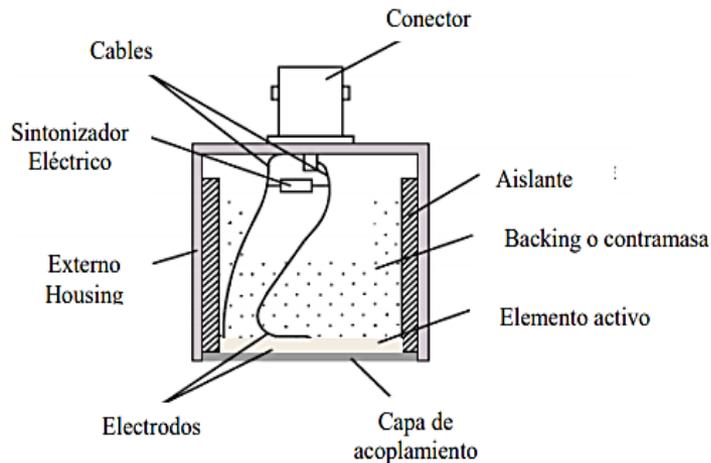
- Programa comercial para la realización de cálculos matemáticos y generación de gráficos.



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## Selección de componentes del sistema

### Transductor Ultrasónico 2.5 MHz



Trasdutor NDT 2.5 MHz (Ndt Industrial Transductor Ultrasónico 2.5 Mhz), que es un trasdutor de haz angular diseñados para la inspección en soldadura

Ítem	Descripción
Lugar de origen	Liaoning, China
Modelo	2.5P20N-S
Frecuencia	2.5 MHz
Material	Acero anocidizado, cerámica
Temperatura	Hasta 260°
Ángulo de cuña	45, 60, 70
Costo	\$200



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## Selección de componentes del sistema

### NI DAQ USB-6008



Dispositivo de E/S multifunción alimentado por bus

Característica	Valor
Resolución de entrada	12
Velocidad máxima de muestreo	10 kS / s
Salidas analógicas	2
Resolución de salida	12
Costo	\$150



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## Selección de componentes del sistema

### Probeta

Metal que permite realizar las pruebas, en este caso el la unión con suelda de dos placas metálicas



### Placa de calibración

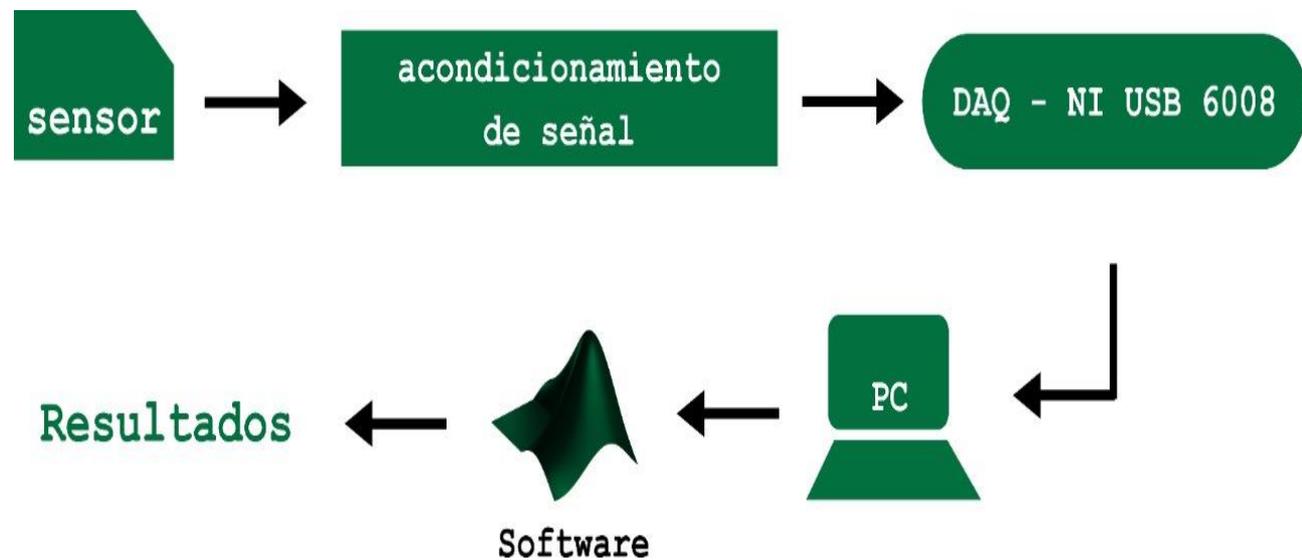


Ítem	Descripción
Tipo	Bloque ASC AWS
Tamaño	4.0 x 2.5 x 1.0 in.
Material	Acero
Descripción de uso	Se utiliza para la calibración a distancia, sensibilidad, ángulo reflejado e índice de haz de sonda.
Costo	\$50



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## Descripción del sistema



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## Circuito de acondicionamiento

Fórmulas para el cálculo del circuito de acondicionamiento

$$V_o = -I_T R_2 = \frac{V_1}{R_1} R_2 - \frac{V_2}{R_2} R_2$$

Valores máximos y mínimos de salida  $V_o$

V1	A	R2	Vo
-4	0,004	625	0
-4	0,006	625	-1,25
-4	0,008	625	-2,5
-4	0,01	625	-3,75
-4	0,012	625	-5
-4	0,014	625	-6,25
-4	0,016	625	-7,5
-4	0,018	625	-8,75
-4	0,02	625	-10

Voltajes a través de un amplificador operacional inversor

$$\frac{V_o}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} = G$$

Considerando que  $R_1=R_2$ , entonces se tendrá una ganancia de:

$$V_o = -1(V_1)$$

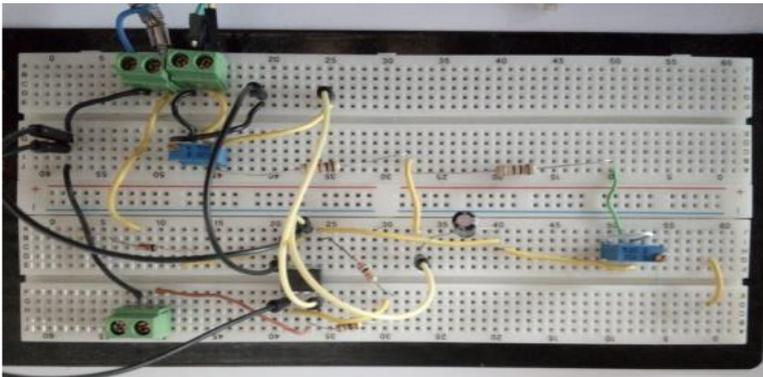
Con lo cual se logra obtener un voltaje invertido.



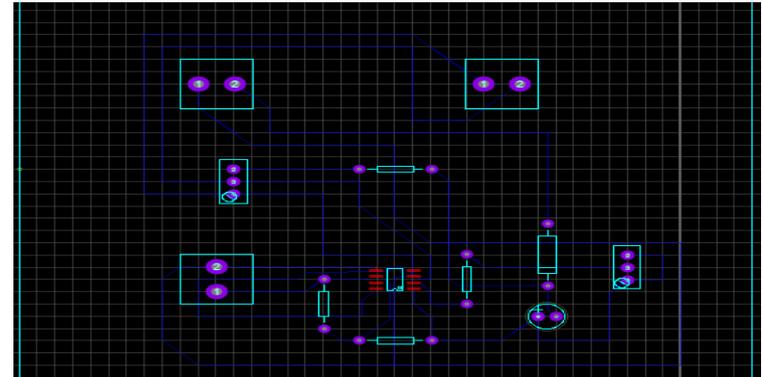
# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## Diseño y construcción del circuito de acondicionamiento

Circuito de acondicionamiento en el protoboard



Pistas del circuito utilizando el software ARES



Montaje y soldadura de los elementos

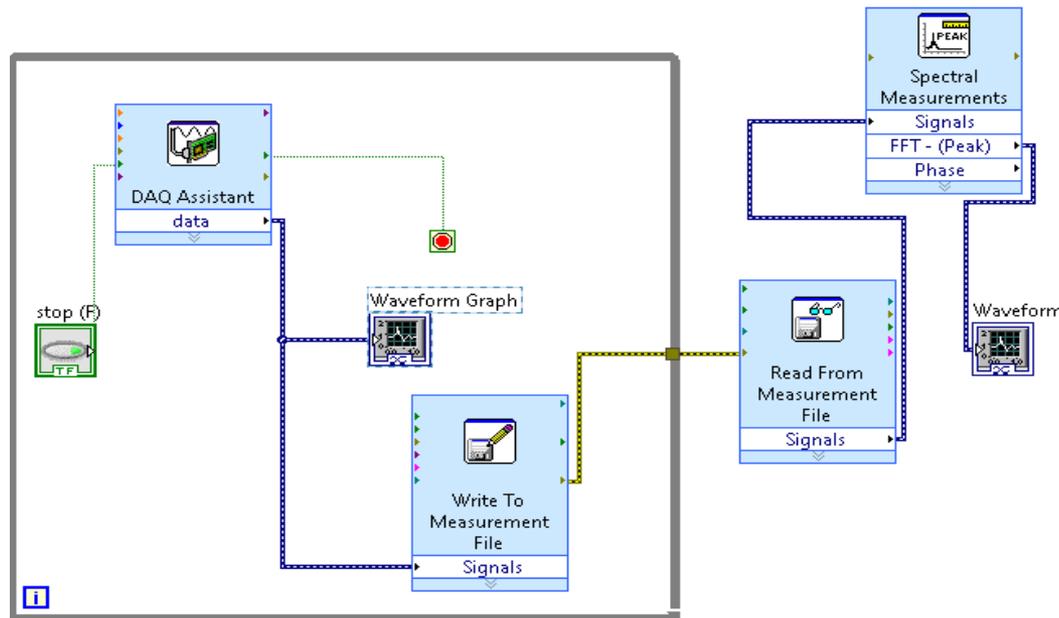


# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## Etapa de Adquisición de datos

NI labview 2019

Se utiliza generalmente para el control y monitoreo de una gran variedad de instrumentos, adquisición de datos y automatización de procesos industriales.



## Configuración del asistente DAQ

The screenshot shows the NI DAQ Assistant configuration interface. The 'Channels in Task' list shows 'Voltage'. The 'Connections List' table is as follows:

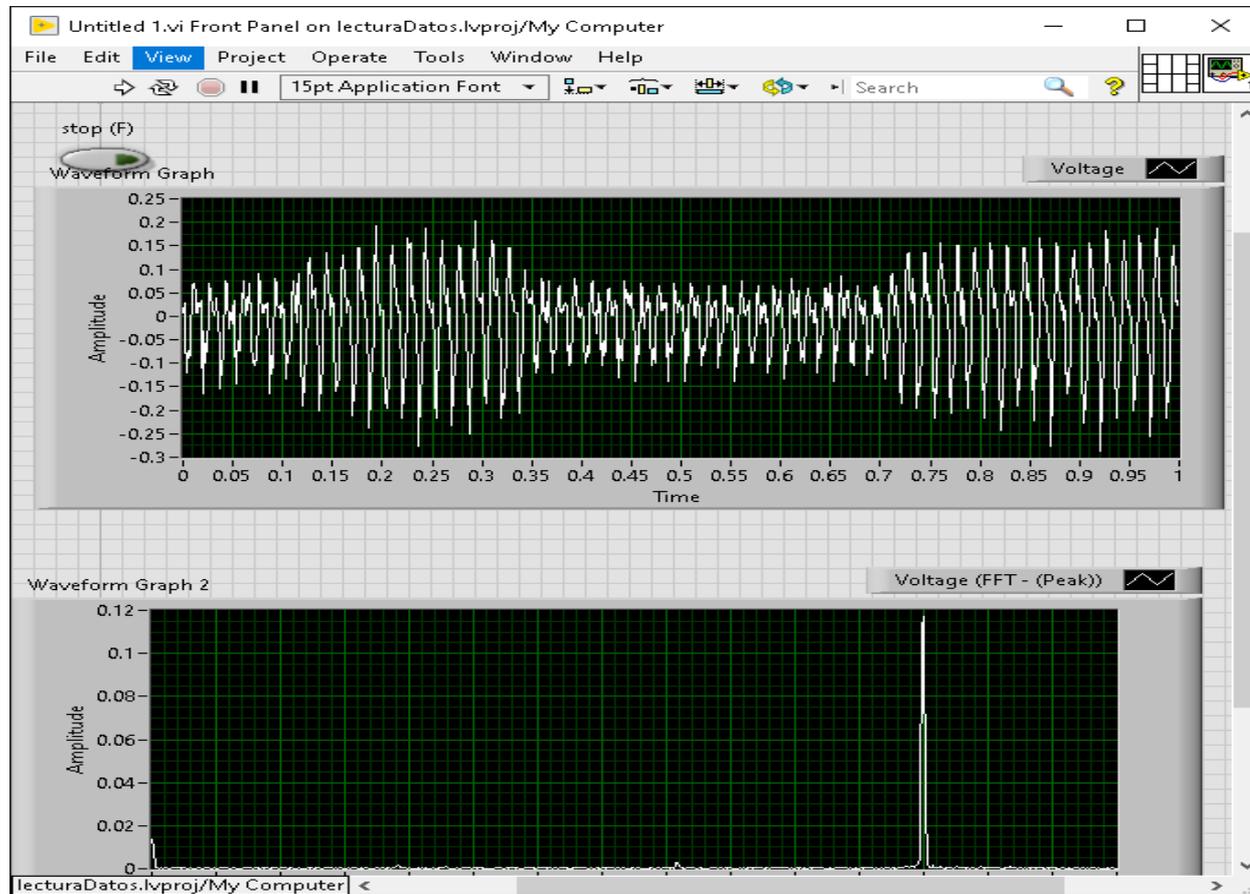
Point 1	Point 2
Voltage/CH+	16PinCombicon/2
Voltage/CH-	16PinCombicon/3

Below the table, there is a 'Save to HTML...' button. The bottom part of the screenshot shows a physical connection diagram for a National Instruments terminal block. It shows a 'V<sub>sig</sub>' source connected to 'CH+' and 'CH-' terminals. The 'CH+' terminal is connected to a green wire, and the 'CH-' terminal is connected to a yellow wire.



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

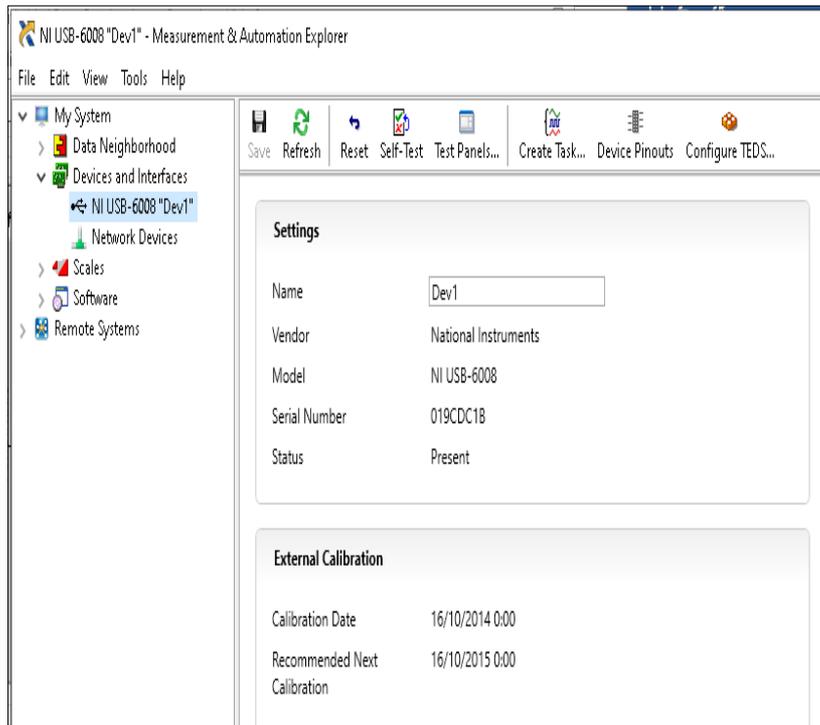
## Forma de onda Amplitud vs Tiempo



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

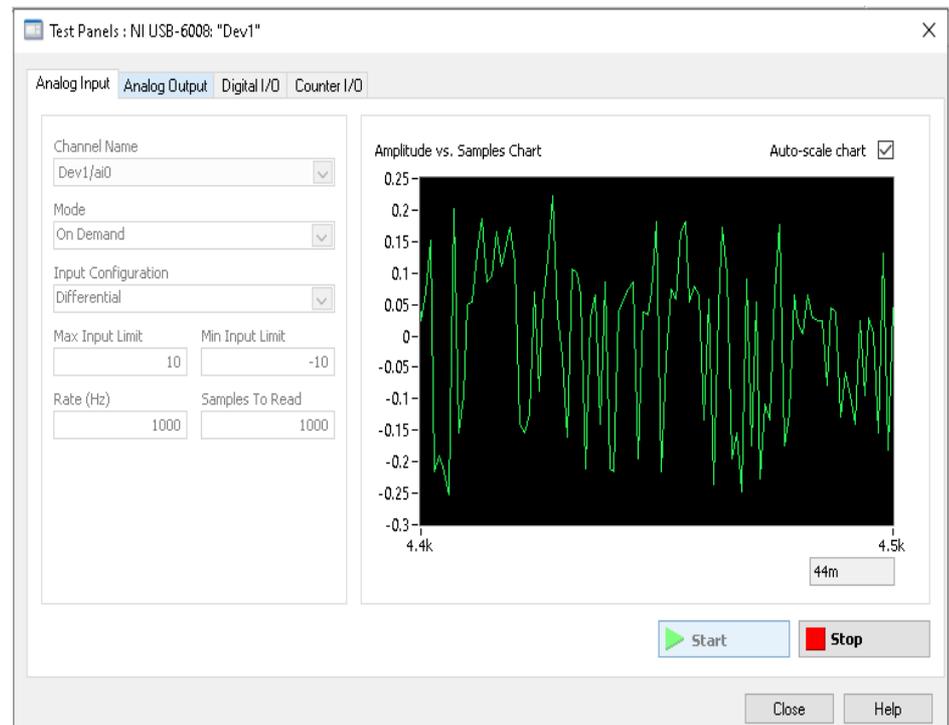
## NI Measurement & Automation Explorer (MAX)

### Referencias Dispositivo conectado



The screenshot shows the NI Measurement & Automation Explorer (MAX) interface. The left sidebar displays a tree view with 'My System' expanded to show 'Data Neighborhood', 'Devices and Interfaces', and 'NI USB-6008 "Dev1"'. The main panel shows the 'Settings' for the device, including Name (Dev1), Vendor (National Instruments), Model (NI USB-6008), Serial Number (019CDC1B), and Status (Present). Below the settings is the 'External Calibration' section, which shows the Calibration Date (16/10/2014 0:00) and Recommended Next Calibration (16/10/2015 0:00).

### Prueba de adquisición de datos



The screenshot shows the NI Test Panels interface for the NI USB-6008 'Dev1'. The 'Analog Input' tab is selected. The configuration panel on the left shows the following settings: Channel Name (Dev1/ai0), Mode (On Demand), Input Configuration (Differential), Max Input Limit (10), Min Input Limit (-10), Rate (Hz) (1000), and Samples To Read (1000). The main area displays a live waveform graph titled 'Amplitude vs. Samples Chart' with 'Auto-scale chart' checked. The graph shows a complex, high-frequency signal with an amplitude ranging from approximately -0.3 to 0.25. The x-axis is labeled '4.4k' and '4.5k', and the y-axis is labeled '44m'. At the bottom of the panel, there are 'Start' and 'Stop' buttons, along with 'Close' and 'Help' buttons.



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## Matlab

Tablas de datos obtenidos del sensor generada en Matlab

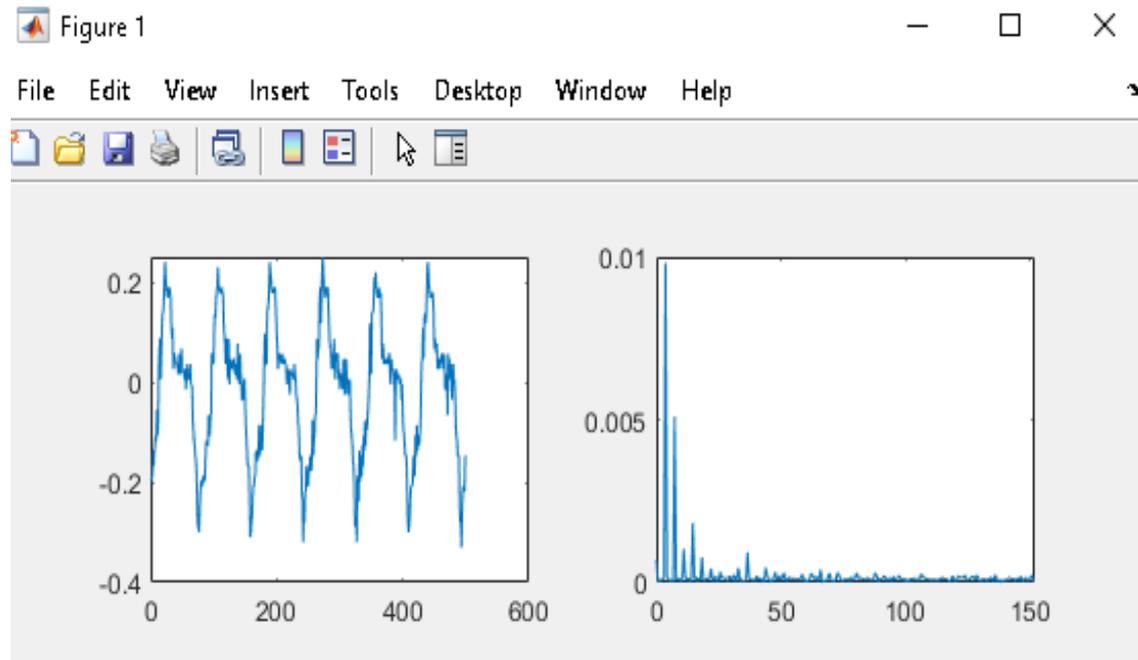
Datos

	Normal
1	0
2	0
3	0
4	0.3467
5	0.4785
6	0.5615
7	0.6055
8	0.7813
9	0.8350
10	0.4980
11	0

Datos

	Amplitud	Lectura
1	0.2133	0
2	0.4249	20
3	0.4199	40
4	0.4116	60
5	0.4001	80
6	0.3856	100
7	0.3683	120
8	0.3483	140
9	0.3259	160
10	0.3014	180
11	0.2750	200

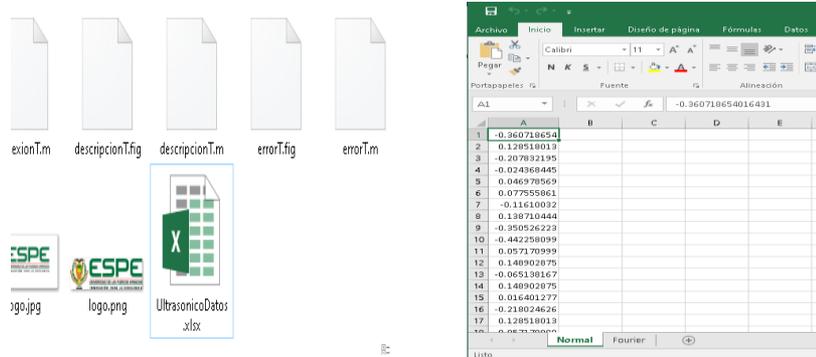
Gráficas obtenidas de los datos del sensor y su respectiva Transformada de Fourier



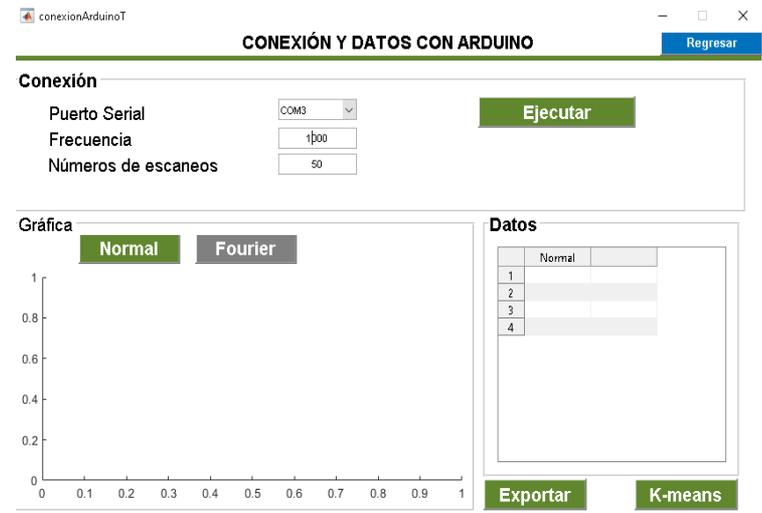
# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## Procesado de datos

Base de datos donde se almacena los valores de amplitud de los ecos ultrasónicos capturados de la pieza de soldadura con el equipo de exploración.



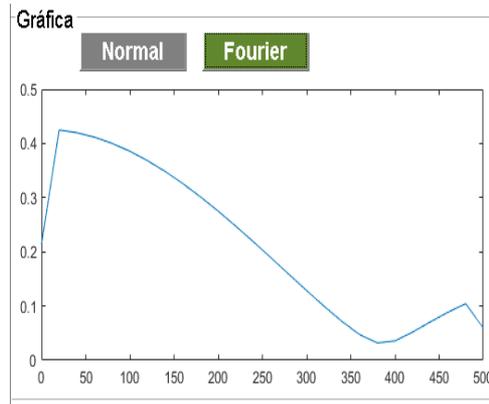
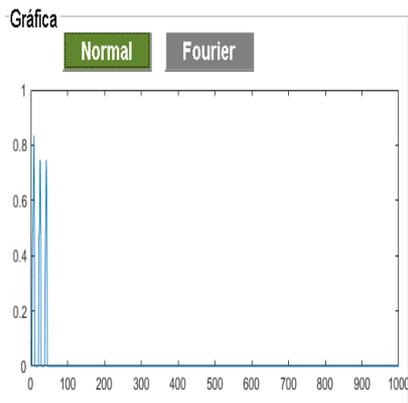
## Conexión de datos con arduino



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

Conexión y datos con Arduino por medio de Matlab

Plantilla de datos en Excel una vez realizada la transformada de Fourier

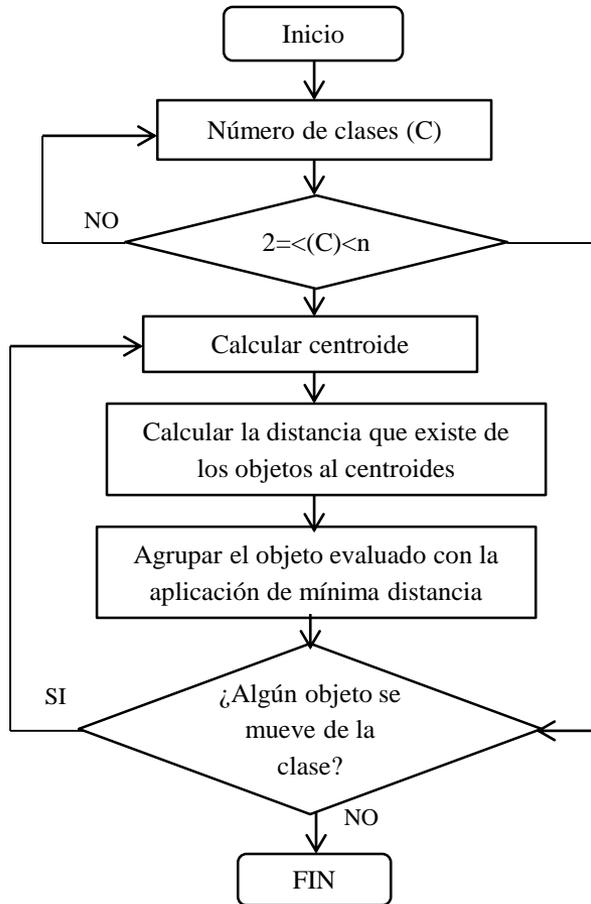


	A	B	C	D
1	0.047427036	0		
2	0.02215512	10		
3	0.014339998	20		
4	0.0161651	30		
5	0.021704007	40		
6	0.008887436	50		
7	0.195556874	60		
8	0.017681935	70		
9	0.013797282	80		
10	0.005356764	90		
11	0.003524509	100		
12	0.012675326	110		
13	0.14566356	120		
14	0.005999235	130		
15	0.027409138	140		
16	0.010535442	150		
17	0.011901902	160		
18	0.000140074	170		
19		180		
20		190		



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## K-means desde NI USB 6008



caracTempT

### CARACTERÍSTICAS TEMPORALES

Características		Combinaciones			
		1	2	3	
Amax	19.5557				
Umbral	1.934	19.5557	12	39.1492	
Nmax	12	19.5557	12	4.9377e-04	
A1	0.047427	19.5557	12	4.7427	
n1	0	19.5557	0	39.1492	
area	39.1492	19.5557	0	4.9377e-04	
ancho	500	19.5557	0	4.7427	
Aante	4.7427	19.5557	39.1492	4.7427	
nante	0	19.5557	4.9377e-04	4.7427	
Apost	0.149664	12	0	39.1492	
Npost	24	12	0	4.9377e-04	
		12	0	4.7427	
		12	39.1492	4.9377e-04	
		12	39.1492	4.7427	
		12	4.9377e-04	4.7427	
		0	39.1492	4.9377e-04	
		0	39.1492	4.7427	
		0	4.9377e-04	4.7427	
		39.1492	4.9377e-04	4.7427	

**Descripción**

**Modelo**

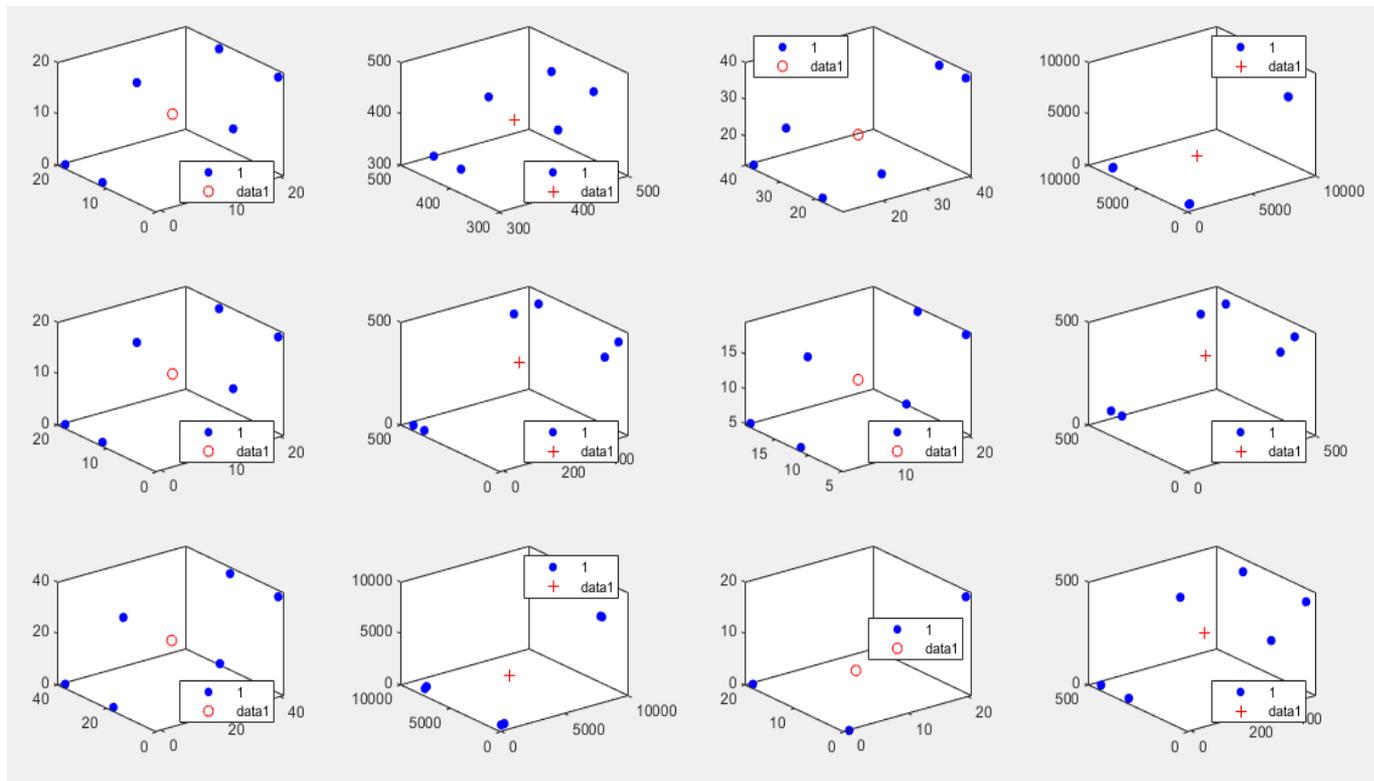
ESPE SEDE LATACUNGA Autor: Santiago Conde



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## K-means desde NI USB 6008

### Centroides con los ecos de prueba (Combinaciones 1-12)



# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## K-means desde Arduino



caracTempT

### CARACTERÍSTICAS TEMPORALES

Características		Combinaciones			
		1	2	3	
Amax	83.4961	83.4961	1.8000	0.8000	
Umbral	1.934	83.4961	1.8000	0.1274	
Nmax	1.8	83.4961	1.8000	0.0195	
A1	0	83.4961	1.8000	34.6680	
n1	1	83.4961	0.8000	0.1274	
area	0.127441	83.4961	0.8000	0.0195	
ancho	0	83.4961	0.8000	34.6680	
Aante	34.668	83.4961	0.1274	0.0195	
nante	0.8	83.4961	0.0195	34.6680	
Apost	0.78125	1.8000	0.8000	0.1274	
Npost	1.6	1.8000	0.8000	0.0195	
		1.8000	0.8000	34.6680	
		1.8000	0.1274	0.0195	
		1.8000	0.1274	34.6680	
		1.8000	0.0195	34.6680	
		0.8000	0.1274	0.0195	
		0.8000	0.1274	34.6680	
		0.8000	0.0195	34.6680	
		0.1274	0.0195	34.6680	

**Descripción**

**Modelo**

ESPE SEDE LATACUNGA

Autor: Santiago Conde

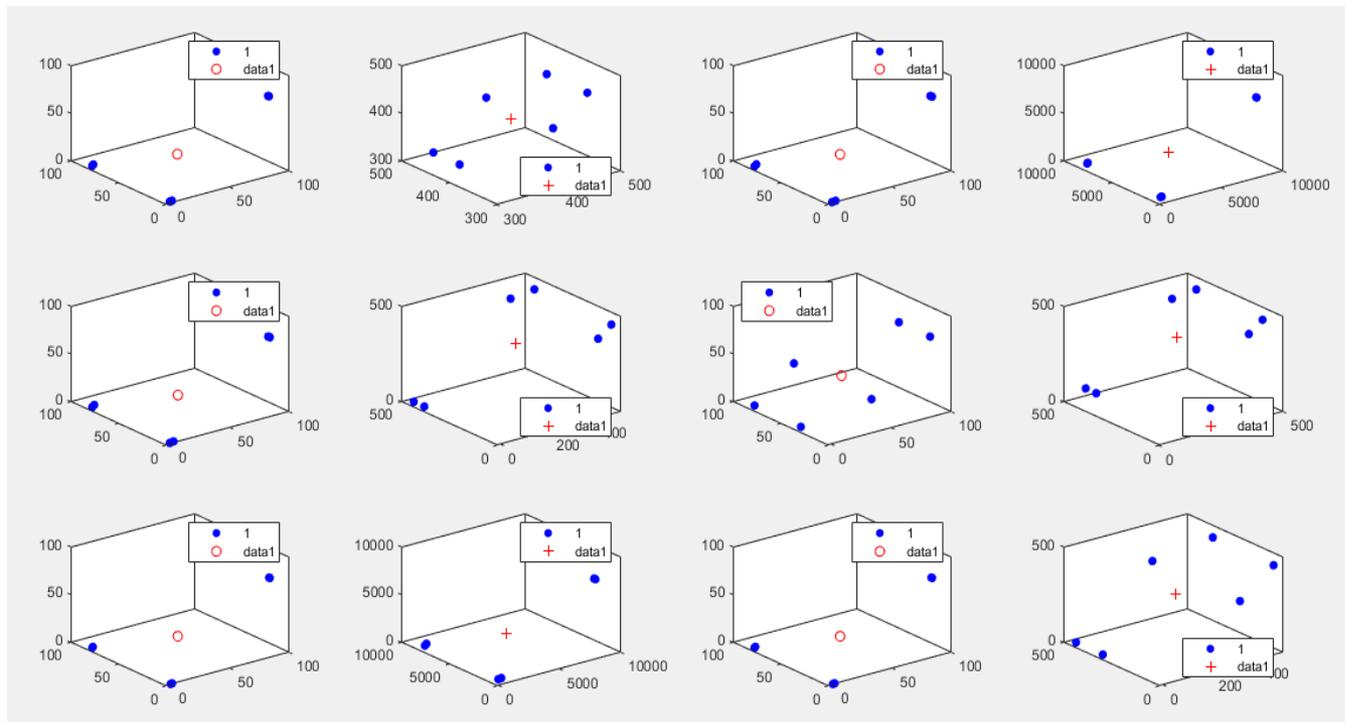


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# CAPÍTULO III. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

## K-means desde Arduino

Centroides con los ecos de prueba con la adquisición desde Arduino  
(Combinaciones 1-12)

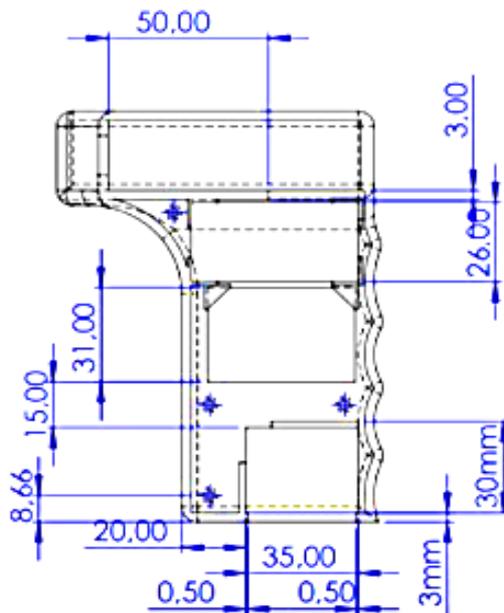


# CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

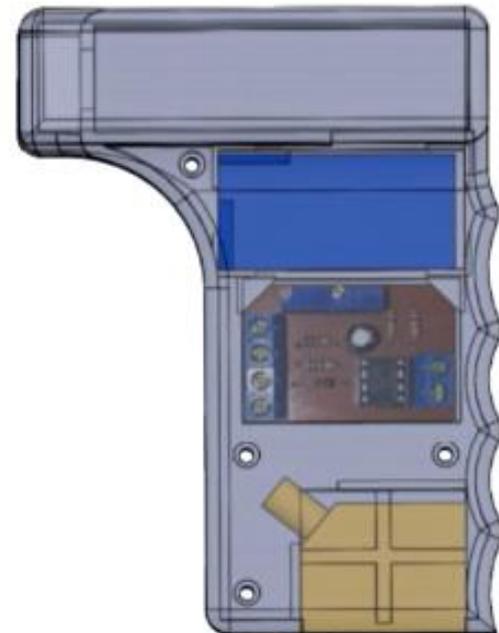
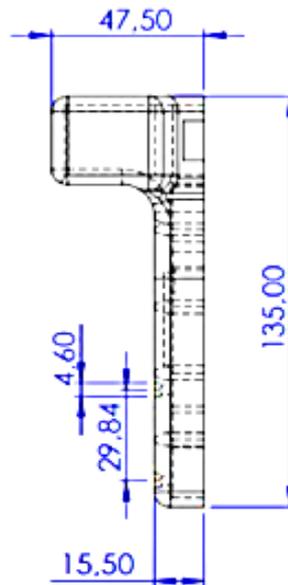
## Módulo de detección

Integrado por el transductor, el circuito de acondicionamiento, la fuente y la DAQ NI USB 6800.

Vista Frontal



Vista Izquierda



# CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

## Módulo de detección

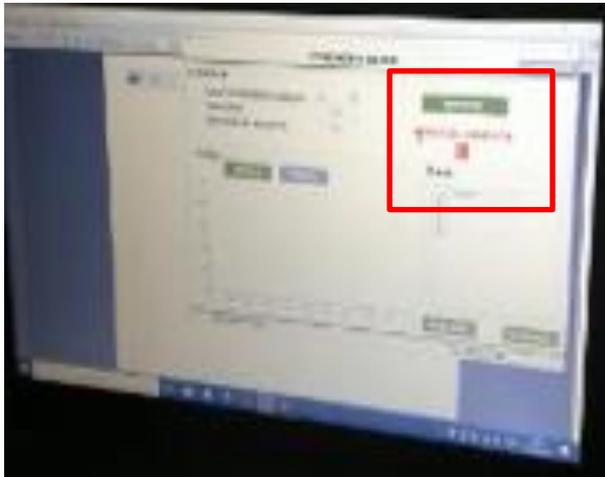
La probeta debe estar integrada con un líquido o gel para que se adhiera de manera adecuada al módulo de detección



# CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

## Pruebas de conexión

Verificar la conexión del módulo al computador.



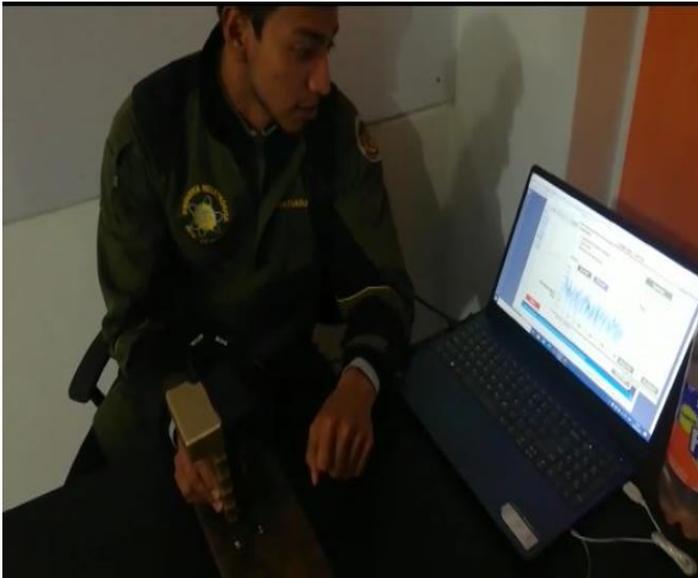
Conexión

Canal de Entrada Analógico	90	<input type="button" value="Ejecutar"/>
Velocidad	5000	<b>ERROR EN CONEXIÓN</b> <input data-bbox="1439 806 1458 849" type="button" value="?"/>
Números de escaneos	500	



# CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

## Funcionamiento del sistema



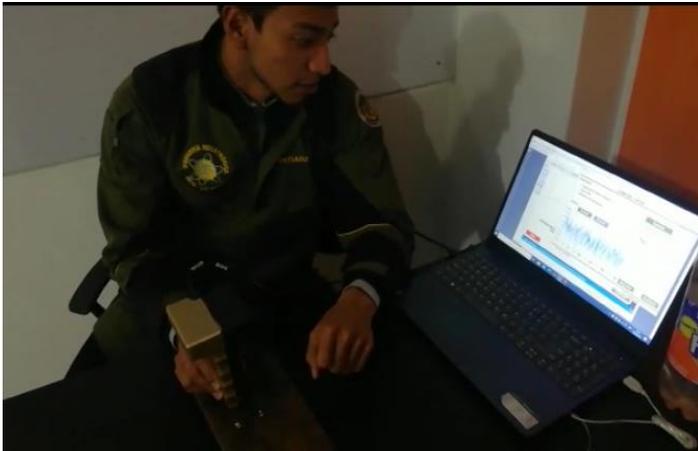
## Resultado con defecto en soldadura

Proporciona el valor de la profundidad, la distancia y el tipo de defecto, que en este caso es porosidad.



# CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

## Funcionamiento del sistema



## Resultado sin defecto en soldadura

resultadoT

**RESULTADOS**

Profundidad	10 mm
Distancia	15 mm
Defecto	N/A



# CONCLUSIONES

- Para el estudio del efecto de la propagación ultrasónica de acuerdo a la forma y el tamaño de la discontinuidad, se diseñó una probeta en la cual se indujeron una serie de defectos de manera artificial que permita la adecuada comparación de los ecopulsos de fisuras del mismo tamaño por medio de un equipo de exploración ultrasónico instalado en un PC, el cual permitió exportar datos en el monitor a una alta velocidad de actualización, por lo tanto se pudo visualizar las señales en tiempo real.
- El sistema diseñado permite la captura de ecopulsos de probetas experimentales con defectos por medio de un transductor, posteriormente se capturaron los datos con una tarjeta de adquisición DAQ NI USB 6800 para ser procesada por medio del programa Matlab, graficarla y clasificarla de acuerdo al tipo y tamaño del defecto.



# CONCLUSIONES

- Para determinar las fallas de soldadura se aplicó K-means que es un algoritmo iterativo en el cual un objeto de la matriz de datos obtenidos no puede pertenecer a más de una clase limitada por un centroide que en este caso son los que presentan defectos y los que no presentan defectos, teniendo como finalidad minimizar la suma cuadrática de la distancia euclidiana entre los puntos y un valor medio del conjunto.
- Para determinar si una pieza metálica soldada es aceptable o no, esta no debería presentar ningún tipo de defecto, es decir que no exista ningún poro, salpicadura ni discontinuidades, para lo cual se diseñó y construyó un sistema mecatrónico para detectar defectos de soldadura GMAW por medio de emisión acústica mediante K-Means obteniendo resultados satisfactorios que demostraron el estado de la placa soldada y el tipo de defecto que posee.



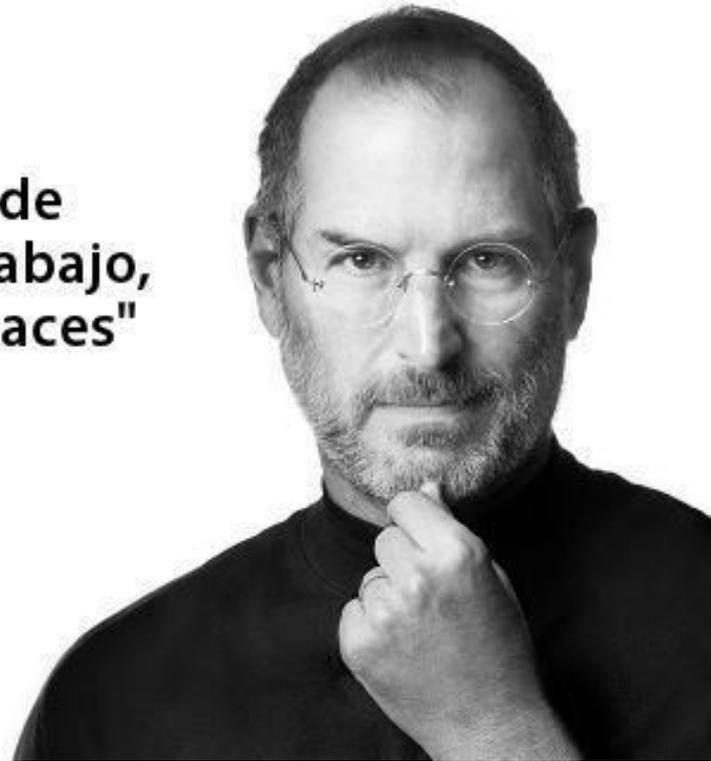
# RECOMENDACIONES

- Es importante revisar la conexión adecuada del módulo de detección hacia el computador y verificación del puerto de conexión para evitar errores al momento de la adquisición de los ecopulsos.
- Para lograr una correcta adquisición de información es necesario colocar un gel en la probeta, lo cual garantiza que el módulo se adhiera a la probeta y proporciones los resultados esperados.



**"La única forma de  
hacer un gran trabajo,  
es amar lo que haces"**

**—Steve Jobs**



**MUCHAS GRACIAS .**



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