

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

PROGRAMACIÓN LABVIEW PARA SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS ULTRASÓNICOS

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Electrónico**, que presenta el bachiller:

ANTONIO JU SEN CHIA LOAYZA HE

ASESOR: Roberto Janniel Lavarello Montero, Ph.D.

Lima, diciembre de 2014

RESUMEN

El Laboratorio de Imágenes Médicas de la PUCP cuenta con los equipos y herramientas necesarias para la implementación de un sistema de adquisición de datos de transductores ultrasónicos de un solo elemento, como el hardware de un posicionador de tres ejes de alta resolución (402/403XE Series - Parker), un emisor/receptor de ultrasonidos (Panametrics NDT 5800 - Olympus) y una tarjeta de adquisición de datos (UF3-4142 - Strategic Test).

En el presente trabajo de tesis se diseñó e implementó un sistema de adquisición de datos ultrasónicos a través de una interfaz gráfica manipulada por el usuario (GUI) el cual opera los equipos mencionados de manera sincronizada. Esta interfaz se implementó con el software LabVIEW, el cual mediante un algoritmo recorre línea por línea toda el área de observación para adquirir datos.

El Capítulo 1 se presenta la situación actual de los sistemas de adquisición en nuestro país, la importancia del desarrollo de estos sistemas y los objetivos del presente trabajo de tesis.

El Capítulo 2 describe el hardware que compone un sistema de adquisición de datos ultrasónicos como la etapa de posicionamiento, transmisión y recepción de pulso-eco, digitalización y adquisición de datos. También se describen las características de los equipos a utilizar de cada etapa.

En el Capítulo 3 se presentan la descripción del software y el funcionamiento del sistema por etapas. Se muestran los criterios utilizados para desarrollar las etapas de posicionamiento y adquisición de datos.

En el Capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos de la tarjeta de adquisición, evaluación de la exactitud de desplazamiento del sistema posicionador y formación de imágenes en modo-B a partir de los datos obtenidos.

A Dios, por la vida.

A mis padres, por su soporte y apoyo en todo momento.

A mi asesor Dr. Roberto Lavarello, por su apoyo y enseñanzas.

Al profesor Dr. Benjamín Castañeda, por sus consejos y enseñanzas.

A Omar Z., Stefano R., Edmundo P., Eduardo G., Tony C. y a todos los miembros del LIM,
por sus consejos y paciencia.

Al proyecto Mejoras en el Tratamiento de Leishmaniasis cutánea (DGI 2010-0105) de la
Dirección de Gestión de la Investigación de la PUCP, por el financiamiento del proyecto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS ULTRASÓNICOS	2
1.1 Sistema de adquisición de datos ultrasónicos y su situación actual	2
1.2 Importancia del desarrollo de un sistema de adquisición de datos ultrasónicos	2
1.3 Objetivos.....	3
I. Objetivo principal	3
II. Objetivos específicos	4
CAPITULO 2: HARDWARE DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS ULTRASÓNICOS.....	5
2.1 Sistema adquisición de datos ultrasónicos.....	5
I. Etapa de posicionamiento.....	5
II. Etapa de transmisión y recepción de pulso-eco.....	6
III. Etapa de digitalización.....	8
IV. Interfaz de usuario.....	8
2.2 Sistema de adquisición de datos ultrasónico propuesto.....	9
2.3 Sistema de protección del posicionador.....	15
CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE E INSTRUMENTACIÓN DESARROLLADOS	18
3.1 Descripción y funcionamiento	18
3.2 Descripción del sistema por etapas	18
I. Etapa de posicionamiento.....	19
II. Etapa de adquisición de datos	24
CAPITULO 4: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	29
4.1 Análisis y resultados	29
I. Interfaz de usuario GUI.....	29
II. Pruebas de la tarjeta de adquisición	31
III. Evaluación de exactitud de movimiento del sistema posicionador.....	34
IV. Formación de imágenes en modo-B.....	39

CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47



INTRODUCCIÓN

Las imágenes médicas tienen una gran importancia en el análisis y detección de enfermedades. Hay diversos métodos para obtener estas imágenes como por radiación ionizante (rayos X) y no ionizante (ecografía).

La ultrasonografía, o ecografía, es un procedimiento de diagnóstico para crear imágenes usando el ultrasonido, onda acústica cuya frecuencia es superior al rango de audición del oído humano (frecuencia mayor a 20 KHz). Es un procedimiento sencillo, no invasivo y muy seguro.

A pesar de sus ventajas, los equipos comerciales tienen un costo elevado y limitan el acceso a los datos de radiofrecuencia, los cuales son importantes para el desarrollo de nuevos métodos de formación y procesamiento de imágenes. En nuestro país el desarrollo de estos sistemas es escaso debido a la complejidad del hardware, su alto costo, la necesidad de un software que controle dicho sistema y la falta de centros especializados que desarrollen la tecnología para la implementación de estos equipos. La mayoría de equipos comerciales no brindan acceso a estos datos y es necesario pagar una licencia de elevado costo para poder acceder.

Ante este contexto, el presente trabajo de tesis tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos ultrasónicos a través de una interfaz gráfica manipulada por el usuario (GUI) capaz de controlar un sistema posicionador para desplazar un transductor ultrasónico y poder adquirir, digitalizar y almacenar los ecos ultrasónicos recibidos mediante una tarjeta de adquisición de datos de alta frecuencia.

CAPITULO 1: SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS ULTRASÓNICOS

1.1 Sistema de adquisición de datos ultrasónicos y su situación actual

Los sistemas de adquisición de datos (DAS por sus siglas en inglés *Data Acquisition Systems*) tienen como principal función muestrear señales que miden condiciones físicas (voltaje, corriente, presión, flujo) y convertirlas en valores digitales que pueden ser manipulados por una computadora. Son los principales instrumentos utilizados en laboratorios de investigación por científicos e ingenieros para pruebas y mediciones.

En nuestro país el desarrollo de estos sistemas es escaso debido a la complejidad del hardware, su alto costo, la necesidad de un software que controle dicho sistema y la falta de centros especializados que desarrollen la tecnología para la implementación de estos equipos. Es por ello que estamos limitados a depender de empresas extranjeras que importan estos equipos, lo cual es un gran problema debido al alto costo que estos tienen y a que no satisfacen las especificaciones técnicas requeridas de cada país.

Para aplicaciones de ultrasonido, es necesario el acceso a los datos de radiofrecuencia para el desarrollo de nuevos métodos de formación y procesamiento de imágenes. La mayoría de equipos comerciales no brindan acceso a estos datos y es necesario pagar una licencia de elevado costo para poder acceder. Un ejemplo de ello es el sistema Antares fabricado por Siemens [9], el cual permite el acceso a los datos de radiofrecuencia a través la interfaz Axius Direct pero tiene un costo adicional. Algunas plataformas de investigación comerciales como el SonixTouch fabricado por Ultrasonix [7] o el sistema Vevo 2100 fabricado por Visualsonics [8], permiten el acceso a los datos de radiofrecuencia sin necesidad de licencias.

1.2 Importancia del desarrollo de un sistema de adquisición de datos ultrasónicos

La creciente demanda de generación de imágenes para el análisis en áreas como la investigación y medicina justifican la necesidad de estudiar una técnica alternativa a las conocidas, como rayos X o ecografías.

El Laboratorio de Imágenes Médicas (LIM) de la PUCP es un centro de investigación dedicado al desarrollo de nuevas técnicas y métodos de procesamiento de imágenes que generan información en el diagnóstico médico.

El desarrollo de un sistema de adquisición de datos ultrasónicos que permita el acceso a datos de radiofrecuencia ultrasónicos permitiría a los grupos de investigación manipular estos datos para futuros proyectos de investigación.

El desarrollo de un sistema posicionador facilitaría la toma de datos debido a que se tendría mayor exactitud y precisión de movimiento del transductor ultrasónico, a diferencia de la toma de datos con los equipos comerciales el cual se realiza manualmente, el desplazamiento y la presión aplicada al transductor sobre el objeto a medir no es uniforme en el tiempo lo que conlleva a adquirir datos erróneos.

El sistema podría también adquirir otros tipos de señales con características similares, lo cual amplía la variedad de aplicaciones del sistema. Un ejemplo de ello es el AIMS III fabricado por Onda [11], el cual mide la intensidad acústica.

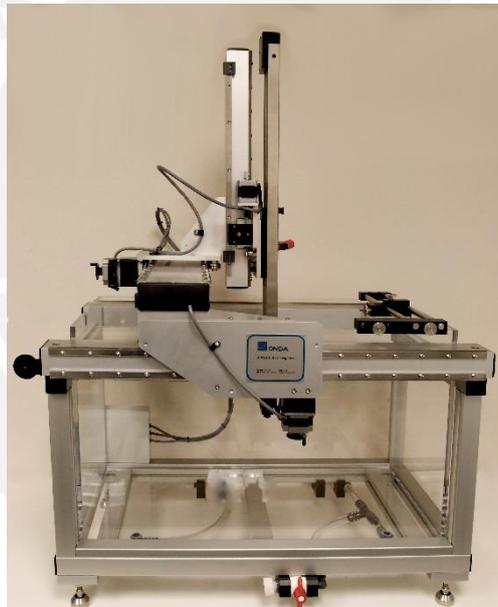


Figura 1 Sistema de medición de intensidad acústica AIMS III, tomado de [11].

1.3 Objetivos

I. Objetivo principal

Diseñar e Implementar un sistema de adquisición de datos ultrasónicos a través de una interfaz manipulada por el usuario que opere un sistema posicionador de tres ejes, un emisor/receptor de ultrasonido y una tarjeta de adquisición de datos de manera sincronizada.

II. Objetivos específicos

- a) Diseñar una interfaz gráfica que controle todo el sistema con el software LabVIEW.
- b) Diseñar el algoritmo del posicionador que recorra línea por línea toda el área de observación.
- c) El algoritmo controlará los parámetros de adquisición de datos (frecuencia de muestreo, promedio de datos adquiridos, tiempo de inicio y fin por posición, voltaje pico pico de la señal y temperatura del tanque de agua).
- d) El algoritmo controlará los parámetros de movimiento (área total y distancia entre posiciones de muestreo, velocidad de desplazamiento y posición inicial).
- e) Evaluar la exactitud del sistema posicionador utilizando sensores de ultrasonido y se diseñar e implementar un sistema de protección (sensores de fin de carrera y botón de pánico) para evitar daños en el hardware del sistema de adquisición.



CAPITULO 2: HARDWARE DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS ULTRASÓNICOS

2.1 Sistema adquisición de datos ultrasónicos

La Figura 2 se muestra el esquema de un sistema de adquisición de datos ultrasónicos, el cual consta de una etapa de posicionamiento, una etapa de transmisión y recepción de pulso-eco, una etapa de digitalización y una interfaz de usuario para manipular los datos. A continuación se describe cada uno de los bloques.



Figura 2 Diagrama de bloques de un sistema de adquisición de datos ultrasónicos

I. Etapa de posicionamiento

El posicionador trasladará al transductor y deberá recorrer línea por línea toda el área de observación con el fin de adquirir los datos de cada posición. Considerar la Figura 3 como el área a desplazar.

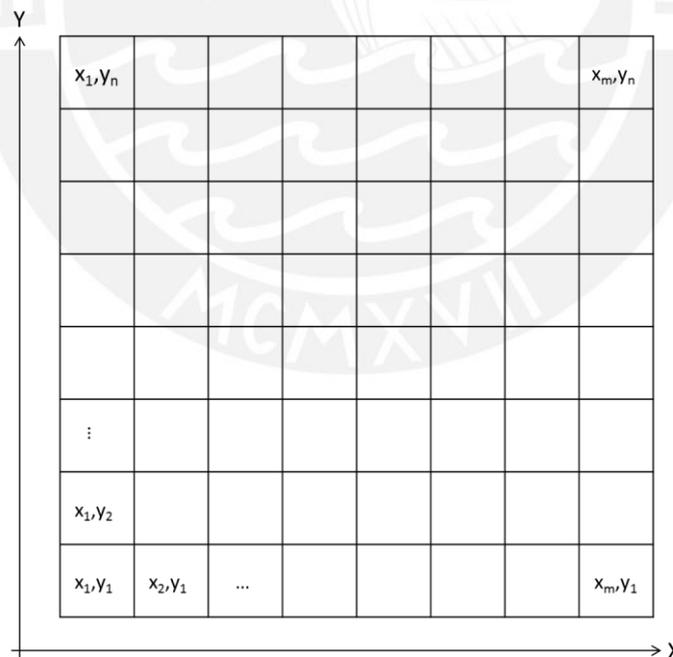


Figura 3 Diagrama de desplazamiento del posicionador

El posicionador con el transductor deberá empezar en una posición inicial x_1, y_1 y realizar movimientos horizontales (desde x_1 hasta x_m) y verticales (desde y_1 hasta y_n) hasta llegar a la posición final x_m, y_n para luego regresar a la posición inicial.

La resolución lateral del posicionador es la resolución en el eje perpendicular al haz de ultrasonido producido por el transductor y es mejor si es igual o menor al diámetro del haz.

La resolución axial del posicionador es la resolución en el eje paralelo al haz de ultrasonido y está determinada por la longitud del pulso, que a su vez, depende de la relación entre la longitud de onda del haz y la frecuencia. A mayor resolución axial, mayor capacidad de distinguir dos puntos ubicados a lo largo del eje del haz ultrasónico.

II. Etapa de transmisión y recepción de pulso-eco

Está formado por el transductor ultrasónico y el emisor/receptor de ultrasonidos.

a) Transductores ultrasónicos

El transductor es un dispositivo capaz de convertir una forma de energía en otra. Son usados para detectar un amplio rango de fenómenos físicos como movimiento, señales eléctricas, energía térmica, magnética o energía mecánica. El transductor ultrasónico convierte energía eléctrica en energía mecánica, en forma de sonido, y viceversa. Estos operan bajo el efecto piezoeléctrico, el cual fue descubierto en 1880 por los hermanos Curie. En la Figura 4 se observa la composición básica de un transductor piezoeléctrico. Para mayor información sobre las características revisar [14].

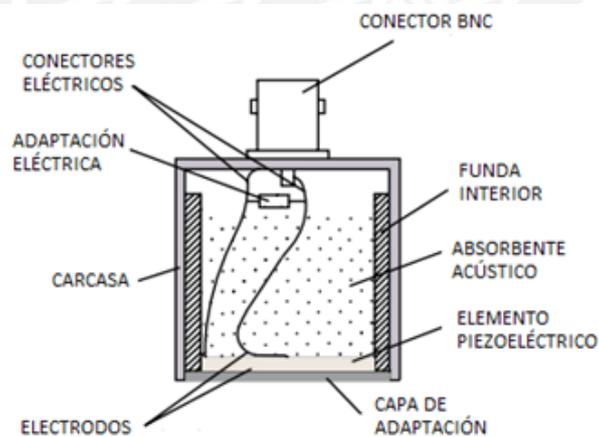


Figura 4 Esquema de un transductor de ultrasonido. Adaptado de Olympus®, “Ultrasonic Transducers Technical Notes” [14].

Los transductores de ultrasonido pueden ser ensamblados usando uno o más elementos piezoeléctricos. Tienen una capa de adaptación de forma cilíndrica o esférica, por ello tienen una distancia focal fija. Pueden ser usados para formar imágenes de mayor

dimensión lateral si es desplazado por un sistema posicionador. También es usado para formar volúmenes si el transductor es desplazado en dos dimensiones.

En cambio, el transductor de múltiples elementos puede formar imágenes sin ser desplazado debido a que consisten en un arreglo paralelo de elementos piezoeléctricos y el haz de ultrasonido se puede dirigir electrónicamente y de manera centrada. Es usado para formar volúmenes si es desplazado por un sistema posicionador en una dimensión. Su principal ventaja es que puede medir diferentes posiciones gracias a los múltiples elementos piezoeléctricos que lo forman.

b) Emisor/Receptor de ultrasonido

Esta etapa consta de dos partes: un emisor de ultrasonido y un receptor de los ecos recibidos por el transductor.

Para generar las ondas ultrasónicas es necesario excitar al transductor con pulsos eléctricos de determinados parámetros de frecuencia, ganancia y potencia. El transductor recibe la señal eléctrica y genera ondas acústicas según los parámetros del excitador. El receptor es un dispositivo capaz de acondicionar la señal eléctrica generada por las ondas acústicas recibidas por el transductor. También es necesario un filtro que elimine las señales de ruido presente en la señal eléctrica recibida.

En la Figura 5 se muestran equipos comerciales que incluyen el emisor y el receptor de ultrasonido en un solo dispositivo.



Figura 5 Equipos excitadores de ultrasonidos Panametrics-NDT modelos 5072PR, 5073PR, 5077PR fabricado por Olympus, tomado de [13].

III. Etapa de digitalización

Esta etapa consiste en digitalizar la señal recibida por el emisor/receptor y transmitirla a una PC. Consta de una etapa de acondicionamiento de señal, adquisición y digitalización, y transmisión de datos.

a) Acondicionamiento de señal

Antes de convertir la señal analógica a digital, es necesaria una etapa de acondicionamiento de señal debido a que estas pueden ser muy ruidosas y peligrosas para las tarjetas si se miden directamente, debido a que estas sólo soportan un rango de voltios como voltaje de entrada. La etapa de acondicionamiento de señales manipula la señal para que sea amplificada en caso tengan una amplitud en el orden de los milivoltios, o atenuada cuando tengan una amplitud que sobrepase el voltaje máximo de la entrada del ADC para no dañar la etapa de conversión. Puede incluir una etapa de filtrado para evitar frecuencias no deseadas.

b) Adquisición de la señal y digitalización

Las señales analógicas de los sensores deben ser digitalizadas antes de ser manipuladas por la PC. Se debe tener en cuenta parámetros como el número de bits de resolución para digitalizar la señal (a menor número de bits la resolución será menor). Otro parámetro importante es la frecuencia de muestreo la cual debe ser mayor al doble de la frecuencia a muestrear siguiendo el teorema de Nyquist, caso contrario ocurriría el efecto aliasing.

c) Transmisión de datos

Luego de digitalizar y almacenar la señal, se debe transferir a la PC. Dentro de las tecnologías utilizadas están: PCI, USB, Ethernet y Wireless. Se debe tener en cuenta que los buses de la PC tienen un límite de cantidad de datos a transmitir conocido como ancho de banda de bus. El bus PCI tiene un ancho de banda de 132 MB/s, PCI Express de 250 MB/s, mientras que USB 2.0 de 60 MB/s. También hay que tener en cuenta si el sistema es estático o portable para elegir el tipo de bus. Por ejemplo, la utilización de buses externos como USB o Ethernet sería más beneficiosa si tenemos un sistema portable. [21]

IV. Interfaz de usuario

Tiene como propósito principal la interacción del usuario con los distintos dispositivos del sistema de adquisición. Debe permitir configurar los parámetros de adquisición como frecuencia de muestreo, promediado de datos y cantidad de muestras.

2.2 Sistema de adquisición de datos ultrasónico propuesto

Los dispositivos a utilizar para el desarrollo del sistema son los siguientes:

- Emisor/Receptor Panametrics-NDT 5800PR - Olympus
- Transductor ultrasónico Panametrics-NDT V306 - Olympus
- Tarjeta de adquisición UF3-4142 –Strategic-Test
- Controlador 6K4 – Parker
- Driver de motor E-AC – Parker
- Driver de motor Aries-04AE – Parker
- Motor a pasos HV-231-01-10 – Parker
- Motor servo SM-231-AE - Parker
- Posicionador de tres ejes 403T06XES – Parker
- Fuente de voltaje 787-612 - Wago
- Computadora Personal
- Software LabVIEW

El Laboratorio de Imágenes Médicas de la PUCP cuenta con los equipos necesarios para la implementación de un sistema de adquisición de datos ultrasónicos como un equipo excitador de transductor de ultrasonido, una tarjeta de adquisición de datos y un sistema posicionador de tres ejes. La Figura 6 muestra el sistema planteado.

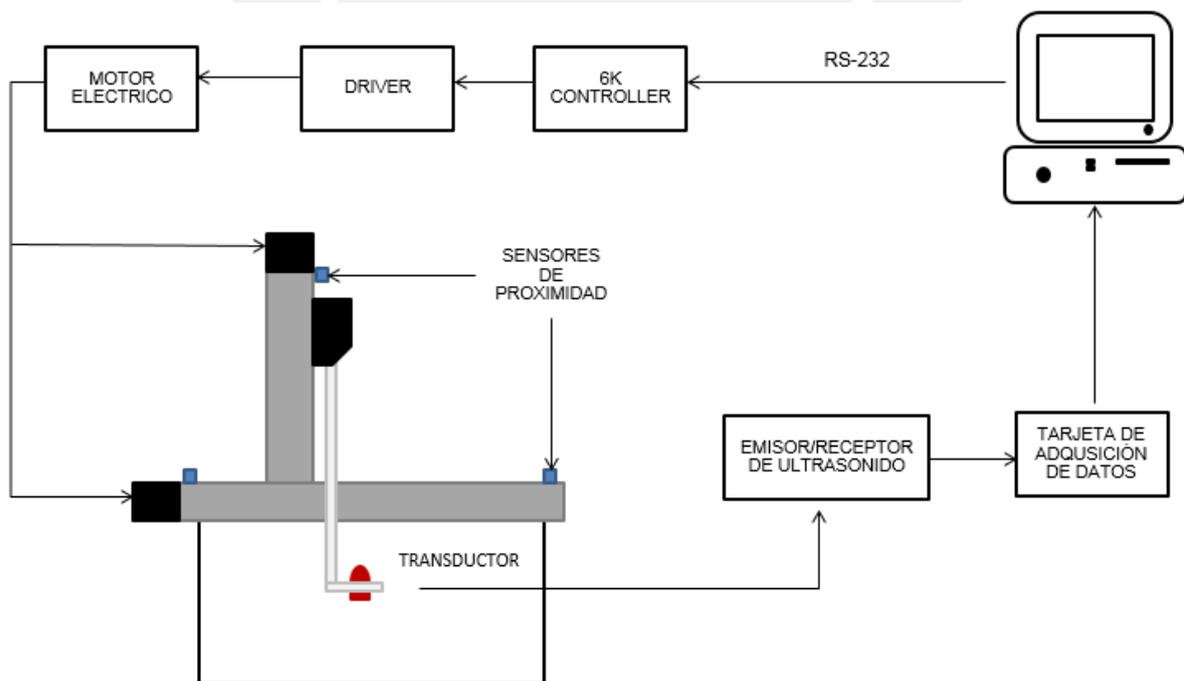


Figura 6 Diagrama de bloques del sistema propuesto

En la Figura 7 se muestra el equipo a utilizar para la etapa de transmisión y recepción de pulso eco el cual es el dispositivo Panametrics NDT 5800PR de Olympus [12] y tiene las siguientes características:

- Modo: pulso-eco, pulser externo
- Ancho de banda de 1 KHz a 35 MHz.
- Permite modificar los valores de PRF, resistencia de amortiguamiento, energía y ganancia de la señal.



Figura 7 Equipo excitador de ultrasonido Panametrics NDT 5800PR, tomado de [12].

El LIM cuenta con el transductor de inmersión Panametrics-NDT V306 como se muestra en la Figura 8, el cual tiene las siguientes características:

- Frecuencia de 2.25 MHz.
- Zona focal entre 2.03 y 4.82 cm.
- Diámetro del haz de 1.338 cm



Figura 8 Transductor de inmersión fabricado por Olympus, tomado de [14].

Para la etapa de digitalización y almacenamiento de datos, el LIM adquirió una tarjeta de adquisición de alta frecuencia UF3-4142 fabricado por Strategic-Test [15], mostrado en la Figura 9, con las siguientes características:

- Frecuencia de muestreo hasta de 400 MS/s
- Resolución de 14 bits
- Memoria de almacenamiento de 512 MB
- Transmisión de datos por protocolo PCI
- 6 rangos de entrada analógica: ± 100 mV hasta ± 5 V
- Librerías para software como: LabVIEW, Matlab



Figura 9 Tarjeta de adquisición UF3-4142 – Strategic-Test, tomado de [15].

El sistema propuesto cuenta con un posicionador de alta resolución que brindará exactitud y precisión de movimiento al transductor de ultrasonido. El posicionador permite desplazamientos en 3 ejes y está formado por rieles 403T06XES fabricados por la empresa Parker [19]. En la Figura 10 se muestra el posicionador formado por 4 rieles.



Figura 10 Sistema posicionador de 3 ejes con rieles 403T06XES – Parker [19]

El eje X consta de un riel a diferencia del eje Y, el cual está formado por dos rieles para brindar estabilidad a todo el sistema debido al peso de los otros ejes. Estos dos rieles del eje Y deben estar sincronizados, es decir deben desplazarse la misma distancia con igual velocidad y aceleración.

Se utilizó motores a pasos para los ejes laterales (X e Y) y motor servo para el eje axial (Z) para realizar los movimientos de cada eje. Debido a que es necesario prender y apagar los motores durante la adquisición, se utilizó un motor servo en el eje axial ya que cuenta con un freno para evitar su desplazamiento mientras no esté operativo.

En la Figura 11 se muestra el esquema para controlar los desplazamientos del posicionador, la PC envía las instrucciones de dirección y desplazamiento al controlador y este lo envía a los drivers como una serie de impulsos eléctricos. Por cada impulso recibido, el motor se desplazará angularmente hasta recorrer la distancia total enviada por la PC.



Figura 11 Diagrama de bloques PC-motor

El controlador utilizado es el 6K4 fabricado por Parker mostrado en la Figura 12, el cual es capaz de controlar los desplazamientos de hasta 4 ejes de motores a pasos y servo. Funciona con un voltaje de alimentación de 24 VAC, una corriente de entrada máxima de 2 A y cuenta con un sistema externo de final de carrera para los motores. Para mayor información acerca del equipo revisar [16].



Figura 12 Controlador 6K4 – Parker, tomado de [16].

El driver para el motor a pasos es el E-AC fabricado por la empresa Parker, con voltaje de alimentación de 120 VAC y corriente de entrada de 1.03 A. Los drivers de los motores a pasos se configuran por medio de unos switches DIP en el exterior del equipo según el motor a utilizar, como se muestra en la Figura 13. Para mayor información revisar [17].

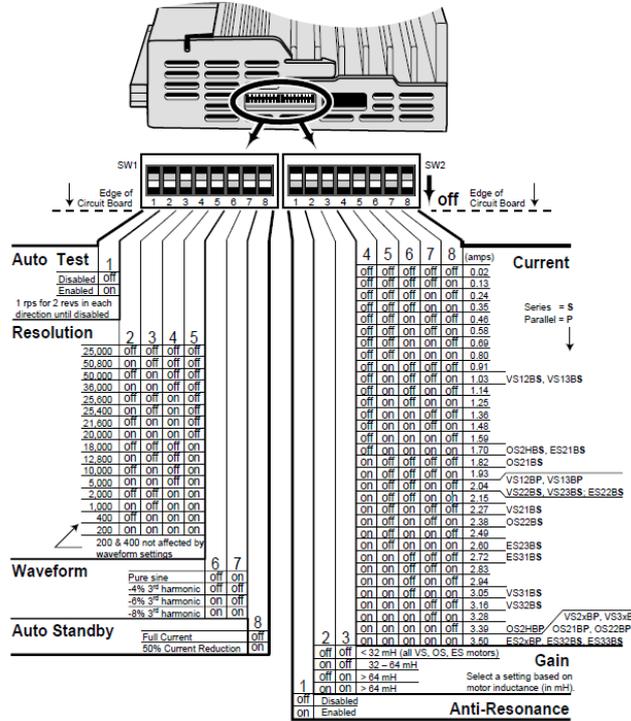


Figura 13 Configuración de los parámetros del driver E-AC, tomado de [17].

El driver para el motor servo es el Aries-04AE fabricado por la empresa Parker, con voltaje de alimentación de 120/220 VAC y corriente de entrada de 3 A. Este driver se configura según el motor a utilizar y se realiza mediante el software Aries Support Tool desarrollado por la empresa Parker, como se muestra en la Figura 14. Para mayor información revisar [18].

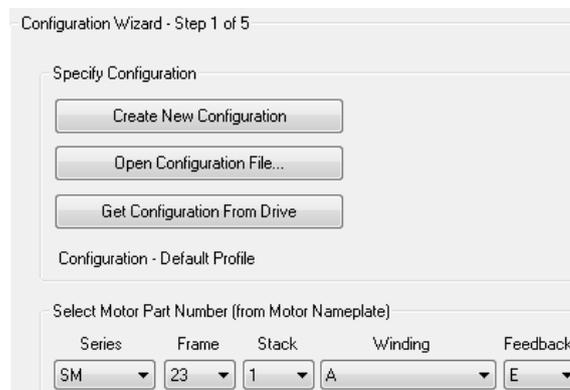


Figura 14 Configuración del software del driver Aries

El motor a pasos utilizado es HV-231-01-10 fabricado por la empresa Parker, con voltaje de alimentación de 110 VAC, corriente por fase de 3.52 A y torque de 0.368 Nm. Para mayor información revisar [23].

El motor servo utilizado es SM-231-01-10 fabricado por la empresa Parker, con voltaje de alimentación de 120/220 VAC, corriente por fase de 2.5 A y torque de 1.27 Nm. Para mayor información revisar [24].

El servo motor requiere de una calibración antes de usarse para brindar estabilidad al sistema mejorando el tiempo de respuesta lo que permite un mayor rendimiento del motor y mayor exactitud de giro del motor. Los motores a pasos no necesitan calibrarse. Para ello se utilizó el programa Motion Planner desarrollado por la empresa Parker el cual cuenta con una aplicación que permite configurar los parámetros de ganancia de control proporcional y control de velocidad los cuales son necesarios para realizar la calibración según [18], mostrado en la Figura 15.

El sistema debe tener una respuesta críticamente amortiguada a una entrada tipo escalón ya que proporciona estabilidad entre el tiempo de respuesta y los efectos de amortiguación.

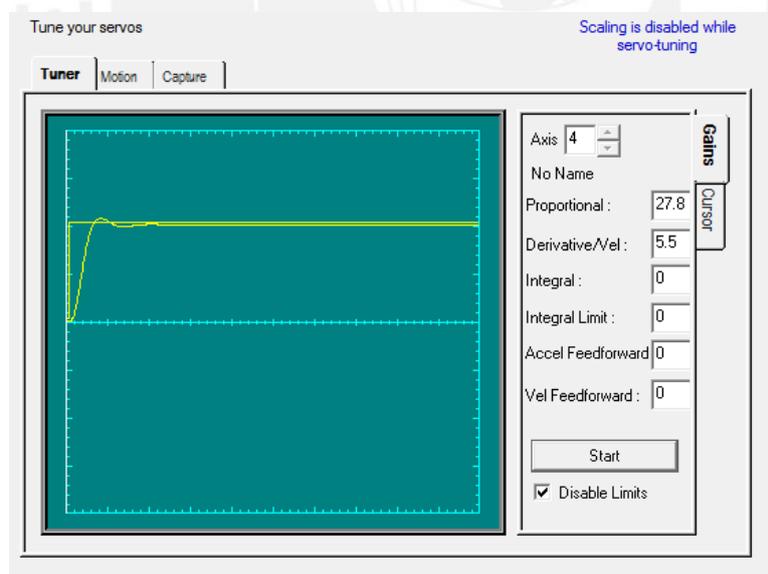


Figura 15 Calibración del servo motor

- Control proporcional: sirve para hacer más sensible al sistema y reduce el error de posición en tiempo estacionario.
- Control de velocidad: anticipa el error de posición y lo corrige antes que sea muy grande.

2.3 Sistema de protección del posicionador

Es necesario establecer límites a la distancia que podrá recorrer cada eje del posicionador para evitar dañar el hardware del posicionador. El controlador 6K cuenta con la opción de poder instalar el hardware de un circuito de final de carrera, el cual cuenta con un conector de 25 pines según la configuración de la Figura 16.

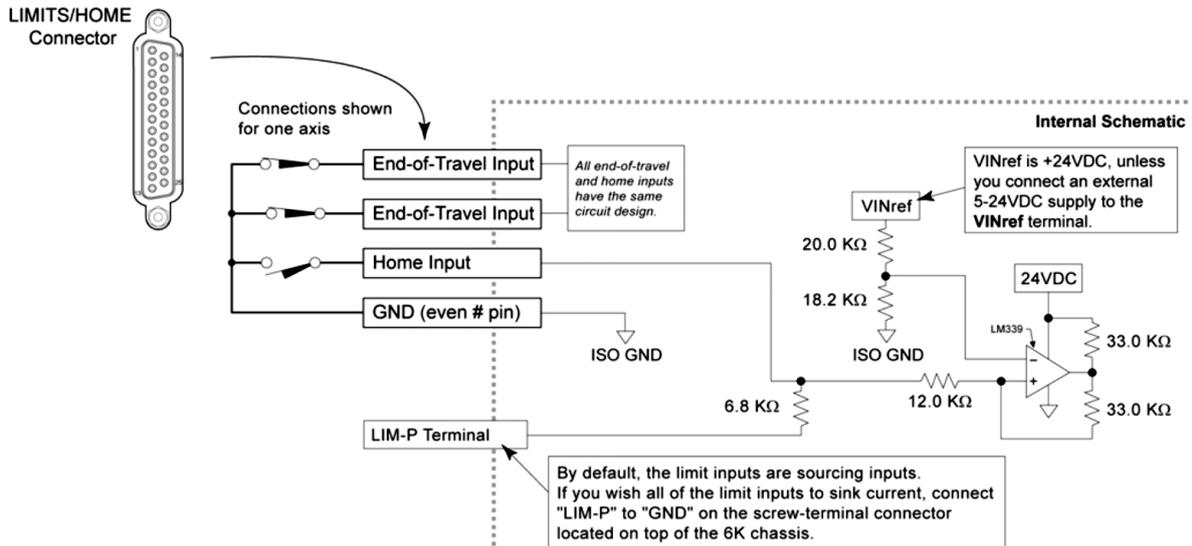


Figura 16 Diagrama esquemático interno del equipo 6K de las entradas de final de carrera, tomado de [9]

Cada pin del conector está destinado a un extremo del eje según el sentido de la dirección del motor como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1 Descripción de los pines del conector, tomado de [9]

Pin #	Eje	Descripción
23	1POS	Dirección positiva eje 1
11	1NEG	Dirección negativa eje 1
17	2POS	Dirección positiva eje 2
15	2NEG	Dirección negativa eje 2
11	3POS	Dirección positiva eje 3
9	3NEG	Dirección negativa eje 3
5	4POS	Dirección positiva eje 4
3	4NEG	Dirección negativa eje 4

Se necesita un dispositivo que pueda conmutar cuando detecte que el riel está llegando a uno de sus extremos. Para ello se diseñó un circuito utilizando un relé y un sensor de proximidad inductivo debido a que la estructura de los rieles es de material metálico.

El sensor de proximidad utilizado es el LJ12A3-4Z/BY fabricado por CFMG, mostrado en la Figura 17, el cual tiene un rango de detección de 4 mm y funciona con un voltaje entre 6-36VDC.



Figura 17 Sensor de proximidad inductivo LJ12A3-4Z/BY

Cada riel debe tener dos límites de final de carrera según la dirección de movimiento del motor, por ello se debe instalar un sensor en cada extremo de cada riel. En la Figura 18 se muestra el esquemático y la tarjeta implementada para los sensores de final de carrera, los cuales evitarán el desplazamiento de los rieles cuando lleguen a la posición final.

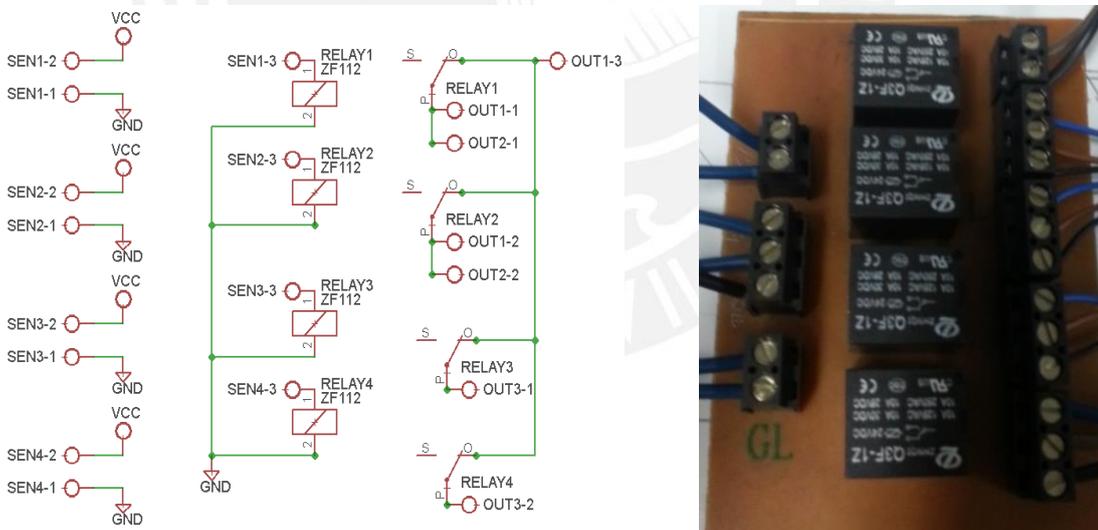


Figura 18 Esquemático del circuito de final de carrera y tarjeta implementada

Se utilizó un terminal con 25 conectores modelo IMDS25F fabricante por ASI, mostrado en la Figura 19, el cual permitirá realizar las conexiones entre la salida del circuito realizado y el controlador 6K.



Figura 19 Terminal IMDS25F – ASI

Es necesario también un botón de pánico que deberá detener el sistema de posicionamiento en casos de emergencia. Este dispositivo estará conectado a la red eléctrica y será la fuente de alimentación de los motores, de tal forma que en caso de emergencia se pueda detener todo el sistema de posicionamiento. La Figura 20 muestra el botón de pánico implementado.



Figura 20 Botón de pánico implementado

CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE E INSTRUMENTACIÓN DESARROLLADOS

En el presente capítulo se detallan los criterios utilizados para el desarrollo de una interfaz gráfica que controla los diversos parámetros del sistema por medio del software LabVIEW. Los programas creados con LabVIEW son llamados instrumentos virtuales (VI) y constan de dos partes: Panel Frontal (interfaz con el usuario) y el Diagrama de Bloques (programa realizado por el usuario).

3.1 Descripción y funcionamiento

Para esta etapa se utilizó el Diagrama de Bloques del software LabVIEW y librerías propias de los dispositivos los cuales contienen diversos VI que se utilizarán para el desarrollo del sistema de adquisición. Cuando un VI es utilizado como subprograma en otro VI se denomina subVI.

El sistema funciona según el siguiente procedimiento:

1. Conexión vía USB del controlador 6K – PC.
2. Configuración de los parámetros del generador de pulsos.
3. Configuración de los parámetros de adquisición.
4. Posicionamiento inicial del sistema posicionador con el transductor.
5. Ejecución de los movimientos predeterminados para la adquisición de datos.
6. Adquisición de datos
7. Almacenamiento de los datos en formato MAT.

Durante la adquisición de datos, el transductor genera ondas ultrasónicas sincronizadas gracias al generador de pulsos. Estas ondas atraviesan diferentes medios donde se reflejan en forma de ecos, los cuales regresan al generador de pulsos por medio del transductor para ser filtrados, amplificados y enviados a la tarjeta de adquisición para ser digitalizados y almacenados.

3.2 Descripción del sistema por etapas

El sistema se ha desarrollado en dos etapas principales:

I. Etapa de posicionamiento

Para controlar la etapa de posicionamiento se utilizó la librería Viewpoint 6K Motion Library desarrollada por Viewpoint System para los controladores 6K. A continuación se describe cada uno de los bloques.

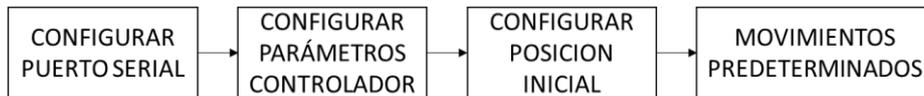


Figura 21 Diagrama de bloques del sistema posicionador propuesto

Para todas las etapas se utilizó el siguiente subVI:

6K comm RS232: realiza múltiples acciones entre la PC-controlador como configurar el puerto serial, enviar instrucciones o recibir la respuesta del controlador. La Figura 22 muestra el diagrama de bloques del subVI y todas sus conexiones.

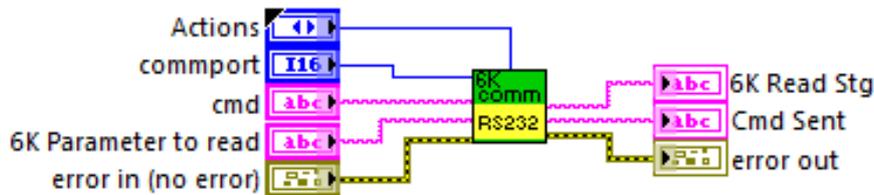


Figura 22 Diagrama de bloques del subVI

a) Configuración del puerto serial

La Figura 23 muestra las conexiones necesarias para configurar el puerto serial y permitir la conexión entre la PC y el controlador 6K.

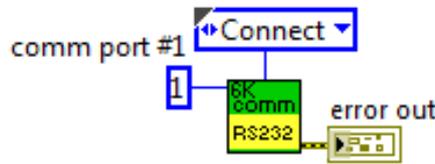


Figura 23 Conexión PC-6K

b) Configuración de los parámetros del controlador

El controlador realizará un escalamiento ya que los valores de distancia, velocidad y aceleración enviadas por la PC tienen unidades de distancia/segundo y los motores deben recibir unidades en pasos/revolución.

Los motores a pasos tienen una resolución de 50800 pasos/revolución (equivalente a un desplazamiento de 1 μm), mientras que el motor servo tiene una resolución de 4000 pasos/resolución (equivalente a un desplazamiento de 10 μm). Se envían los siguientes comandos desde LabVIEW:

SCALE1 ; habilita el escalamiento
 SCLD50800,50800,50800,4000; factor de escalamiento de distancia.
 SCLV50800,50800,50800,4000; factor de escalamiento de velocidad.
 SCLA50800,50800,50800,4000; factor de escalamiento de aceleración.

También se envían los comandos de la calibración del servo motor hallados mediante el software Motion Planner (en la Figura 15):

SGP,,,27.8; factor de ganancia de control proporcional
 SGV,,,5.8 ; factor de ganancia de control de velocidad

c) Configurar posición inicial

Consiste en mover el posicionador con el transductor en la primera posición donde se iniciará a adquirir los datos y esa posición servirá como un punto de referencia a futuros movimientos. La Figura 24 muestra las conexiones necesarias y como se envía el comando para configurar la posición inicial.

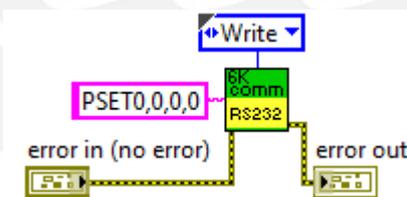


Figura 24 Configuración posición inicial

Para ello se utilizó el siguiente comando:

PSET0,0,0,0; configura la posición actual como la posición de referencia.

La Figura 25 muestra las conexiones necesarias para saber la posición actual del posicionador y se utilizará el siguiente comando:

TPE; retorna la posición actual de los motores en pasos/revolución. Si se realizó el escalamiento, se multiplicará por el factor de escalamiento de distancia.

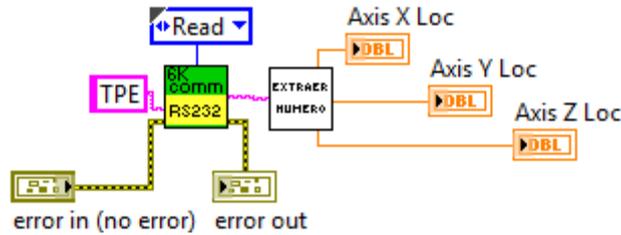


Figura 25 Mostrar posición actual del posicionado

El comando TPE tiene como respuesta: *TPE+0,+0,+0,+0, donde +0 es la posición actual y variará según se vaya moviendo cada eje del posicionador. La Figura 26 muestra el diagrama de bloques necesario para extraer los números que este contiene para mostrarlo al usuario.

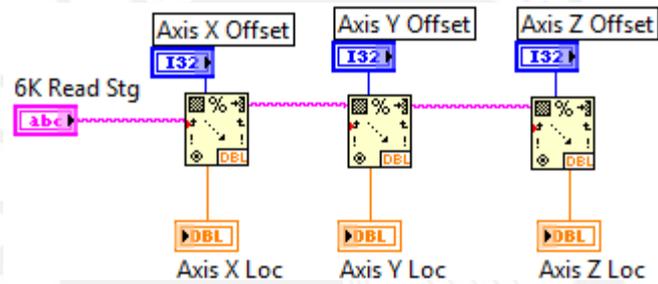


Figura 26 Extraer números de la respuesta del 6K

La Figura 27 muestra el diagrama de bloques para realizar desplazamientos con el posicionador y se utilizaron los siguientes comandos:

Dx,x,x,x: establece la distancia a mover según el valor de x.

GOxxxx: inicia el movimiento según el valor de x (x=0 no se mueve, x=1 mover)

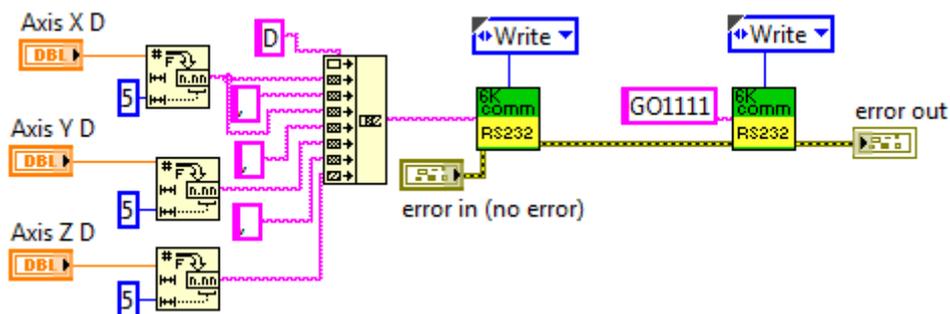


Figura 27 Mover los ejes del posicionador

d) Movimientos predeterminados

El sistema posicionador tendrá múltiples opciones de movimiento: mover solo un eje (X, Y o Z) o mover dos ejes (X-Y, Y-Z, Z-X y las combinaciones entre ellas).

El usuario deberá controlar algunos parámetros importantes:

- Distancia entre posición de muestreo (ΔX): es la distancia entre la primera y segunda posición.
- Distancia total (X): es la distancia total a recorrer.

El posicionador se moverá una distancia ΔX , verificará que el posicionador no se encuentre en movimiento y adquirirá datos. Realizará esta secuencia hasta recorrer una distancia X para luego regresar a la posición inicial. La Figura 29 muestra el diagrama de flujo el cual realizará esta etapa (Función auxiliar).

La Figura 28 muestra el diagrama de bloques necesario para verificar si el posicionador se encuentra en movimiento.

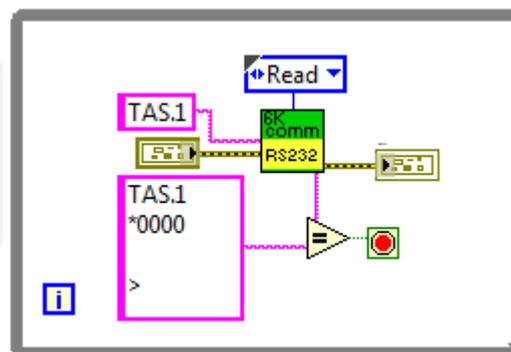


Figura 28 Verificar movimiento del posicionador

Para ello se utilizó el siguiente comando:

TAS.1: devuelve 0000 si el sistema posicionador no se encuentra en movimiento, caso contrario 1111.

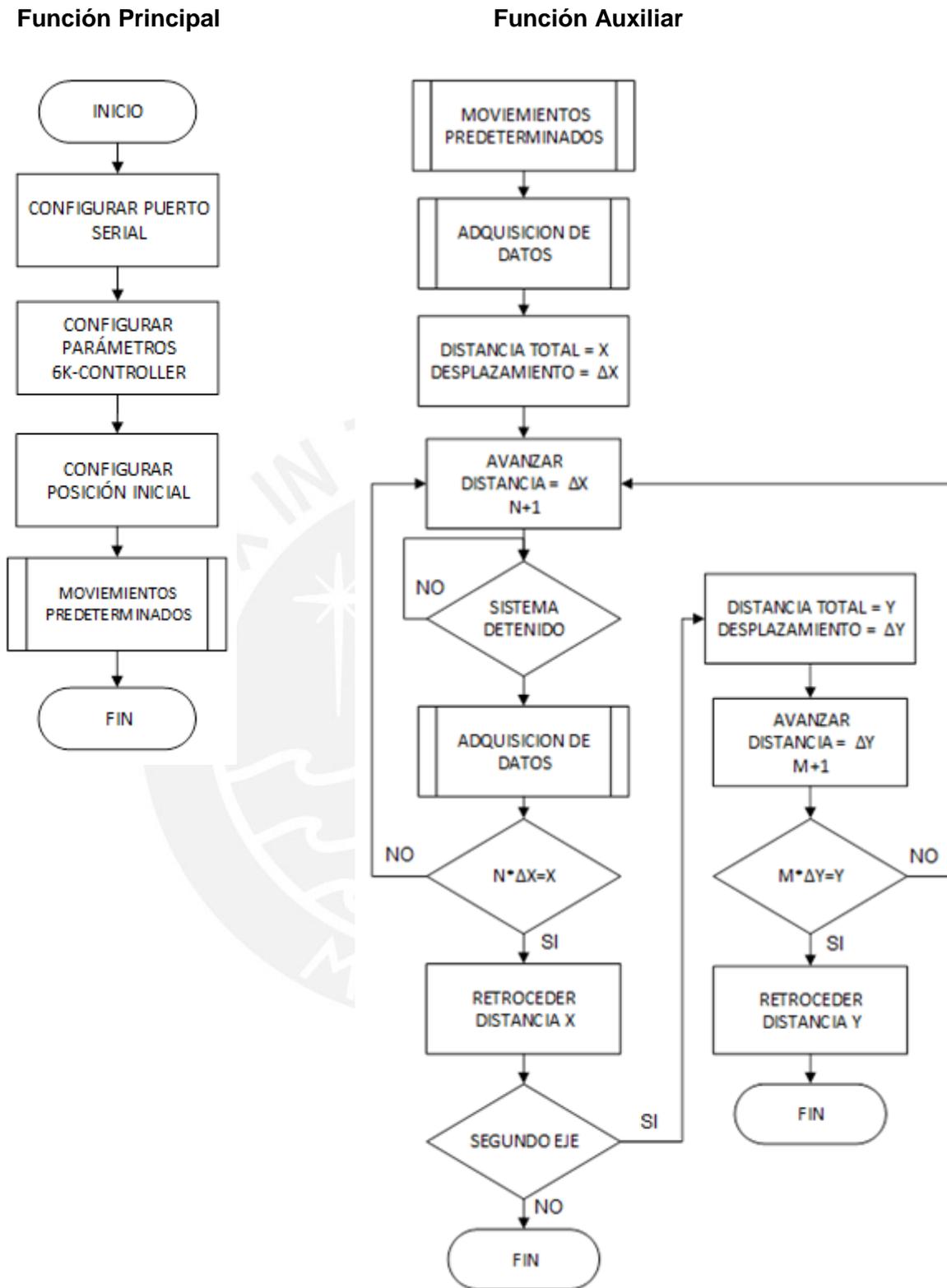


Figura 29 Diagrama del algoritmo desarrollado

II. Etapa de adquisición de datos

Para esta etapa, se utilizó la librería M3i.xxxx desarrollada por la empresa Strategic-Test para las tarjetas de la serie M3i. A continuación se describe cada uno de los bloques.

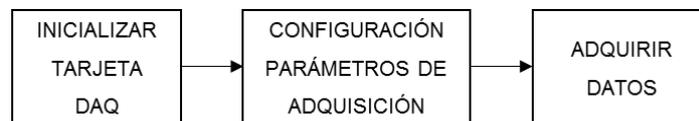


Figura 30 Diagrama de bloques del funcionamiento de la tarjeta DAQ

a) Inicializar tarjeta DAQ

En la Figura 31 se muestra la secuencia de subVIs para inicializar la tarjeta DAQ.

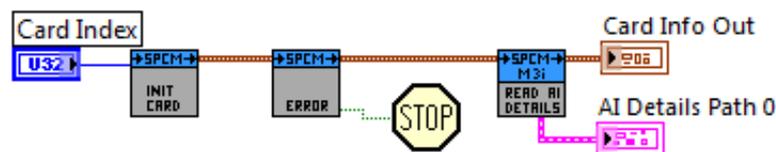


Figura 31 Inicialización de la tarjeta DAQ

En esta etapa se utilizaron los siguientes subVIs:

Init card.vi: Este VI conecta la tarjeta con la PC y es necesario que ejecute al inicio de todo el programa.

Error check and message.vi: Verifica que no hay ningún error al momento de iniciar la conexión.

M3i read AI details.vi: Lee todos los datos analógicos de la entrada de la tarjeta (número de canales de entrada, rango de voltaje de entrada, bits de resolución, entre otros). Tiene como salida la información de todas las entradas analógicas.

b) Configuración de parámetros de adquisición

Se configura parámetros como tipo de adquisición, cantidad de muestras por toma, frecuencia de muestreo, retraso en muestras y rango de voltaje de la señal de entrada. La Figura 32 muestra el diagrama de bloques de los subVI utilizados para configurar los parámetros mencionados. Se utilizaron los siguientes subVIs:

M3i setup AI cannel.vi: lee la información enviada por M3i read AI details.vi y configura los parámetros de entrada para cada canal.

Setup DAQ standard.vi: configura los tipos de adquisición (adquisición simple o múltiple) o la cantidad de muestras por toma.

M3i setup clock.vi: configura la frecuencia de muestreo.

M3i setup single AI trigger.vi: configura el trigger a utilizar (por software o externo) y el retraso del trigger en muestras.

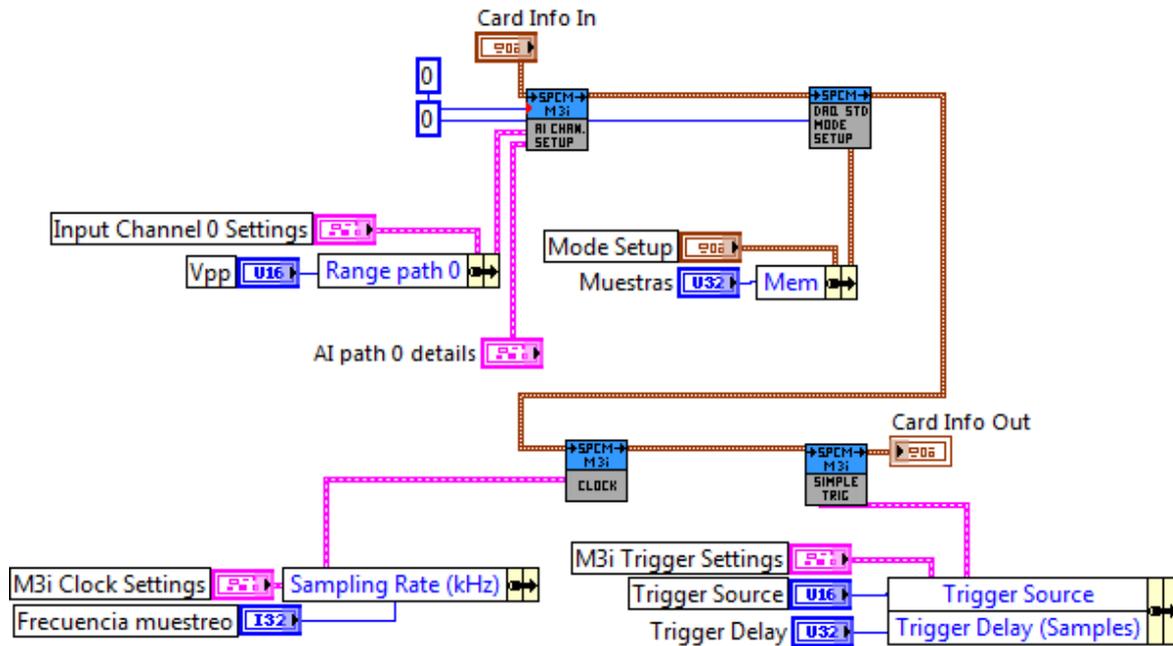


Figura 32 Configuración de los parámetros de adquisición

c) Adquisición de datos

Esta etapa consiste en adquirir datos recibidos por el generador de pulsos para poder digitalizarlas. Lee los parámetros configurados anteriormente antes de empezar la adquisición, verifica el estado de la tarjeta y devuelve indicadores para los siguientes procesos. La Figura 36 (Función auxiliar) muestra el diagrama de flujo utilizado para realizar la adquisición de datos. La Figura 33 muestra el diagrama de bloques de los subVI utilizados para configurar los parámetros mencionados. Los subVIs utilizados son los siguientes:

Cmd start.vi: configura los parámetros anteriores para empezar la adquisición.

Read card status.vi: lee el estado de la tarjeta DAQ y devuelve indicadores de estado que pueden ser usados para los siguientes procesos.

Spcm translate status.vi: muestra el estado de la tarjeta de adquisición (grabando, grabación finalizada o esperando el trigger).

Force trigger: envía un comando para detener el trigger.

Stop.vi: detiene la adquisición.

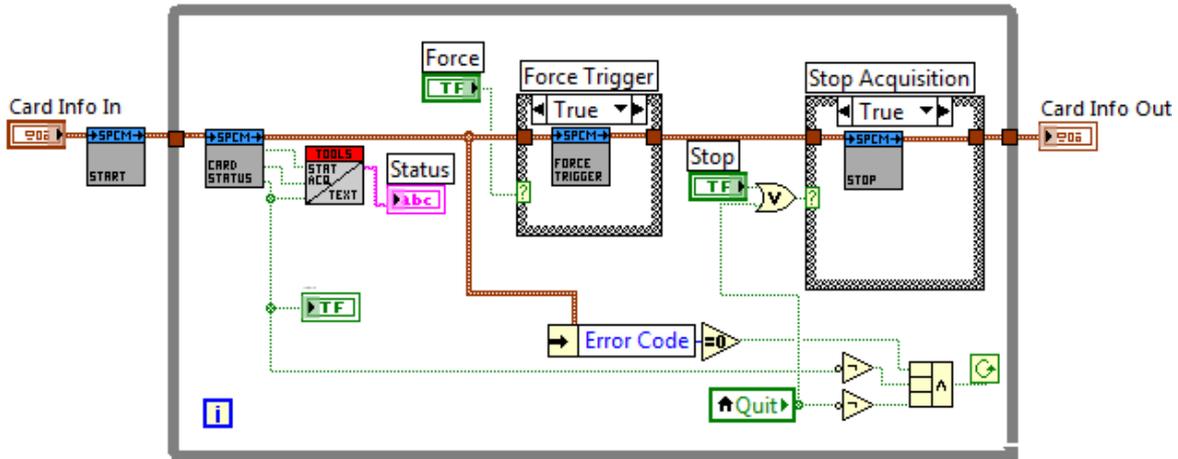


Figura 33 Inicio de la adquisición de datos

Luego se adquieren los datos según la cantidad de muestras configuradas y se repite según el número de promedios para luego realizar una media del total. El resultado se guarda en una matriz para la siguiente etapa. La Figura 34 muestra el diagrama de bloques de los subVI utilizados para adquirir los datos. El subVI utilizado es el siguiente:

Dwdataread float.vi: Lee los datos adquiridos, ordena, recalcula en función al voltaje y devuelve los datos en una matriz.

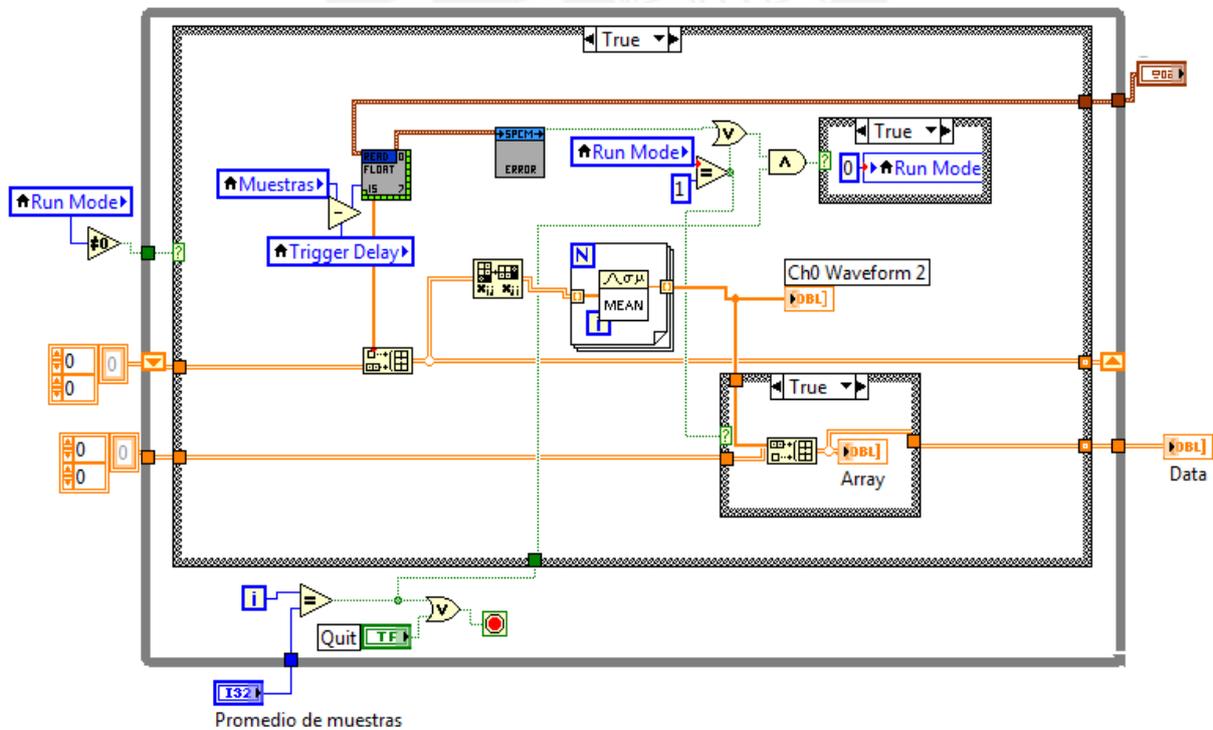


Figura 34 Adquisición y promediado de datos

d) Guardar datos

Los datos adquiridos son guardados en un archivo en formato MAT que podrán ser utilizados por el programa Matlab. Este archivo guarda los datos de radiofrecuencia, los parámetros de adquisición y de movimiento en un archivo tipo estructura. Para ello, se utilizó la librería Mat-file IO que permite escribir y leer archivos de Matlab [25]. La Figura 34 muestra el diagrama de bloques de los subVI utilizados para guardar los datos adquiridos.

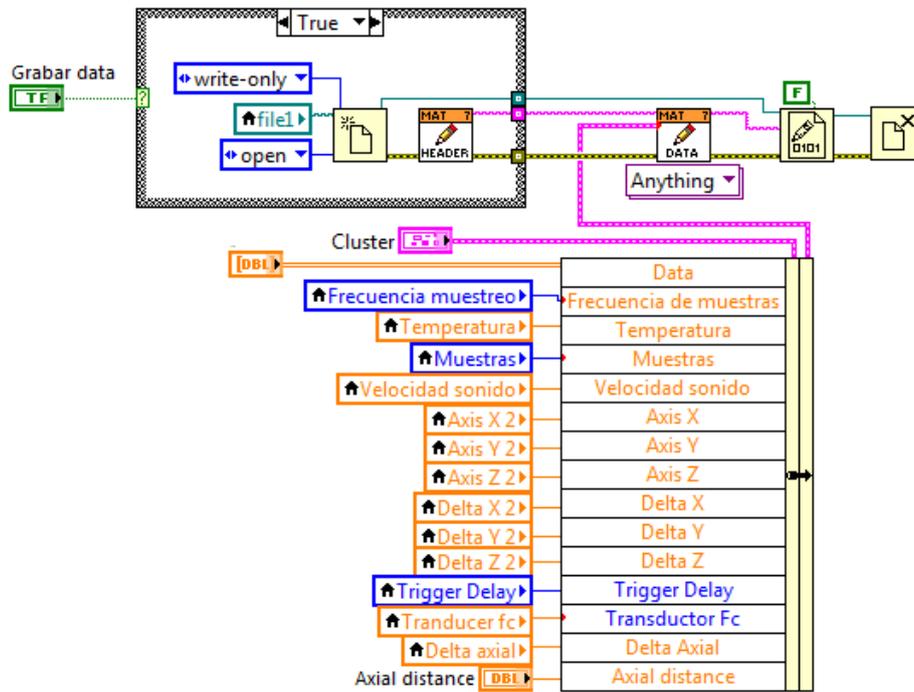
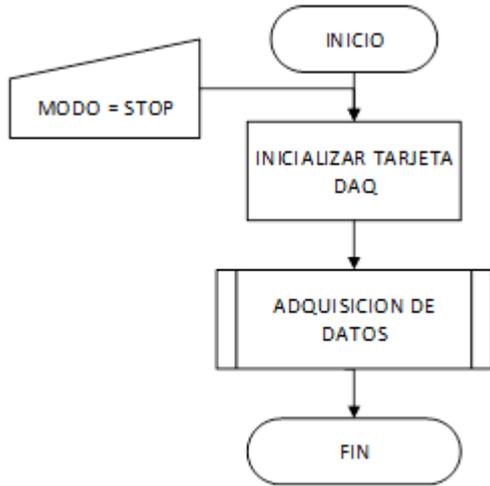


Figura 35 Almacenamiento de datos

Función Principal



Función Auxiliar

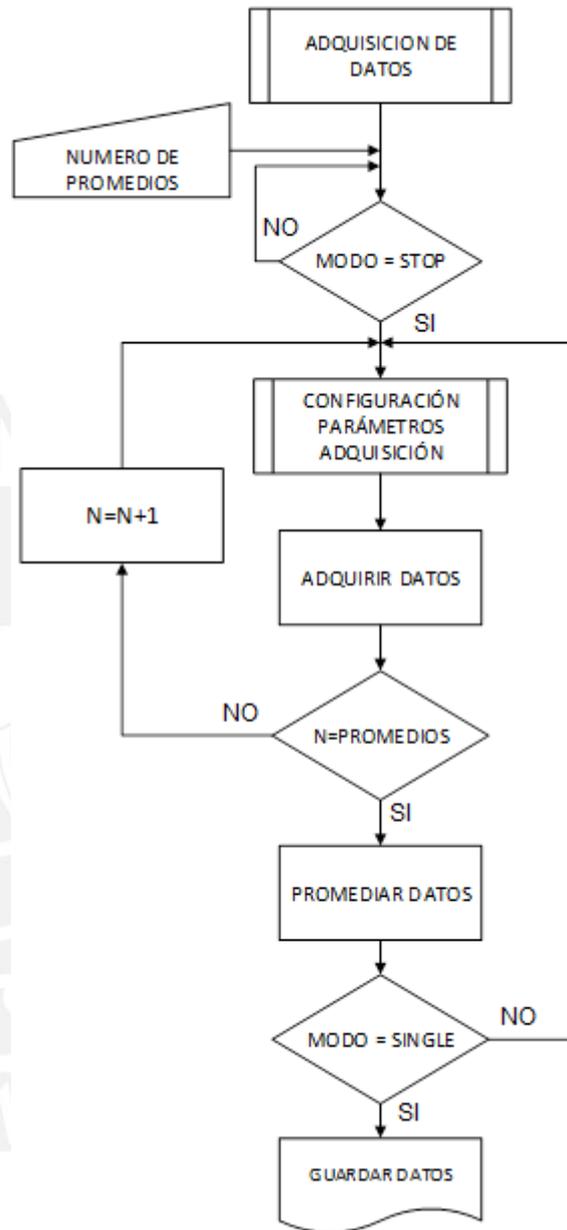


Figura 36 Diagrama de flujo del algoritmo desarrollado

CAPITULO 4: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el siguiente capítulo se muestran los resultados obtenidos con el sistema de adquisición de datos ultrasónicos desarrollado. Se desarrolló una interfaz de usuario en donde el usuario puede manipular diversos parámetros de adquisición y movimiento del posicionador. Se realizó una calibración del sistema posicionador para calcular la exactitud en cuanto a las distancias enviadas por PC y la distancia recorrida. También se generó imágenes modo-B a partir de los datos obtenidos.

4.1 Análisis y resultados

I. Interfaz de usuario GUI

El usuario puede configurar los parámetros de cada adquisición de datos desde la PC. La Figura 37 muestra la interfaz de usuario implementada en el Panel Frontal del software LabVIEW.

a) Parámetros de adquisición

- **Frecuencia de muestreo:** indica cuantas muestras tomara el sistema por periodo de onda. El usuario podrá escoger frecuencias entre 20 y 400 MHz.
- **Cantidad de datos:** indica la cantidad de datos por muestra a adquirir.
- **Promedio de muestras:** indica cuantas muestras se promediarán.
- **Voltaje de la señal:** indica el rango de voltaje de la señal de entrada.
- **Modo captura de datos:** indica el modo adquisición (adquisición simple o múltiple).
- **Temperatura del agua:** se utiliza para calcular la velocidad del sonido en el medio.

b) Parámetros de movimiento

- **Velocidad de movimiento:** indica a qué velocidad se moverán los ejes del posicionador.
- **Posición actual:** muestra la posición actual del motor en el eje del posicionador.
- **Posición inicial:** configura para que la posición actual sea la posición de referencia.
- **Movimientos predeterminados:** permite elegir el tipo de movimiento del posicionador.

La interfaz permite realizar un acercamiento a una zona de la señal obtenida variando los parámetros del gráfico. También mostrará la distancia axial de la señal según la cantidad de datos que se adquieran.

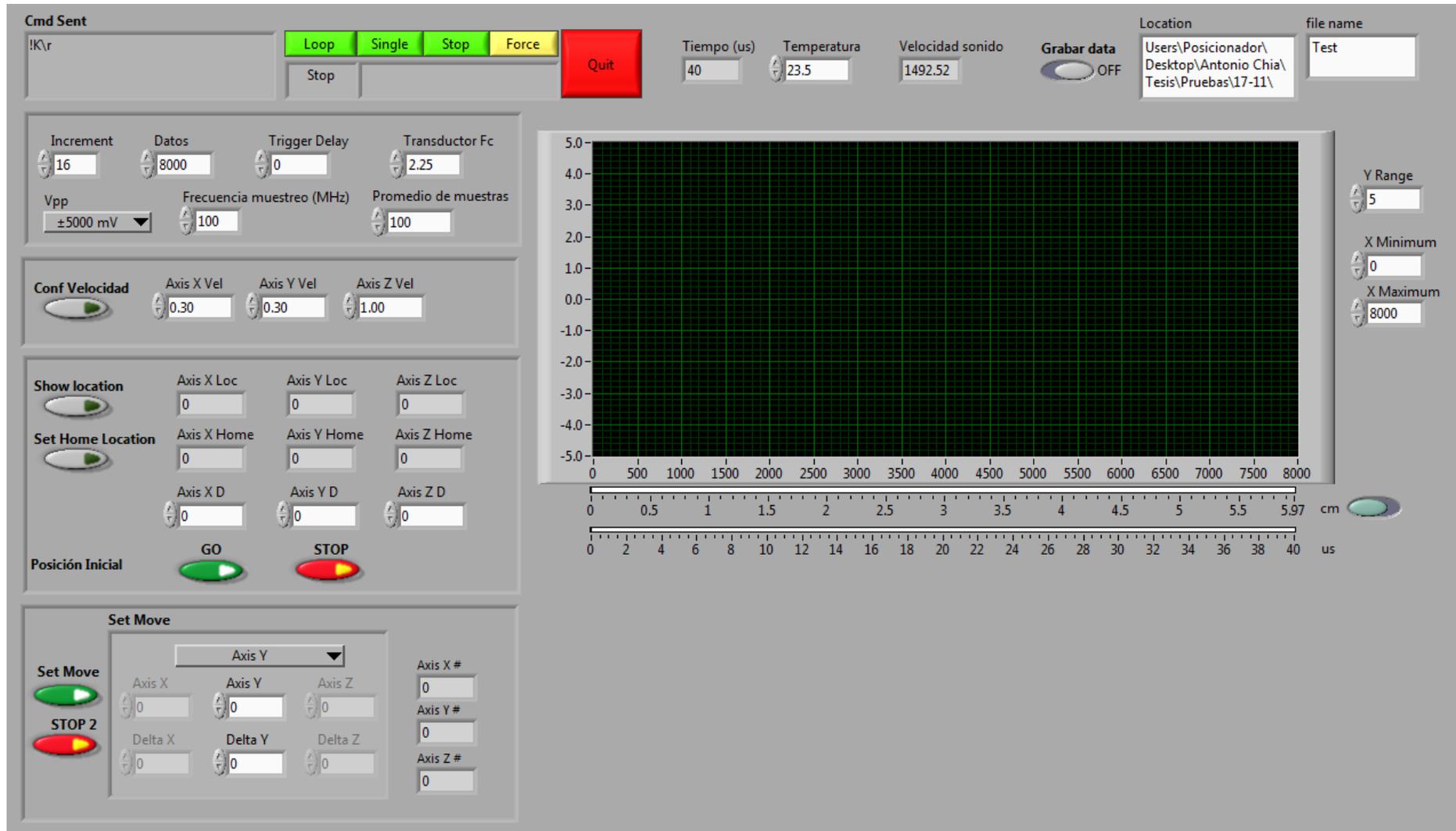


Figura 37 Interfaz de usuario desarrollado

II. Pruebas de la tarjeta de adquisición

Para verificar el funcionamiento de la tarjeta de adquisición y que muestre la gráfica de la señal de entrada en la interfaz, se utilizó el generador de señales BK PRECISION 4040b para simular la señal de entrada. Este generador posee tres tipos de salida: senoidal, triangular y cuadrada.

La Figura 38 muestra la señal digitalizada para señales senoidales de frecuencia de 1, 2 y 5 MHz para que sean similares a las frecuencias de los transductores del laboratorio, amplitud de 2V y se utilizó una frecuencia de muestreo de 25 MHz.

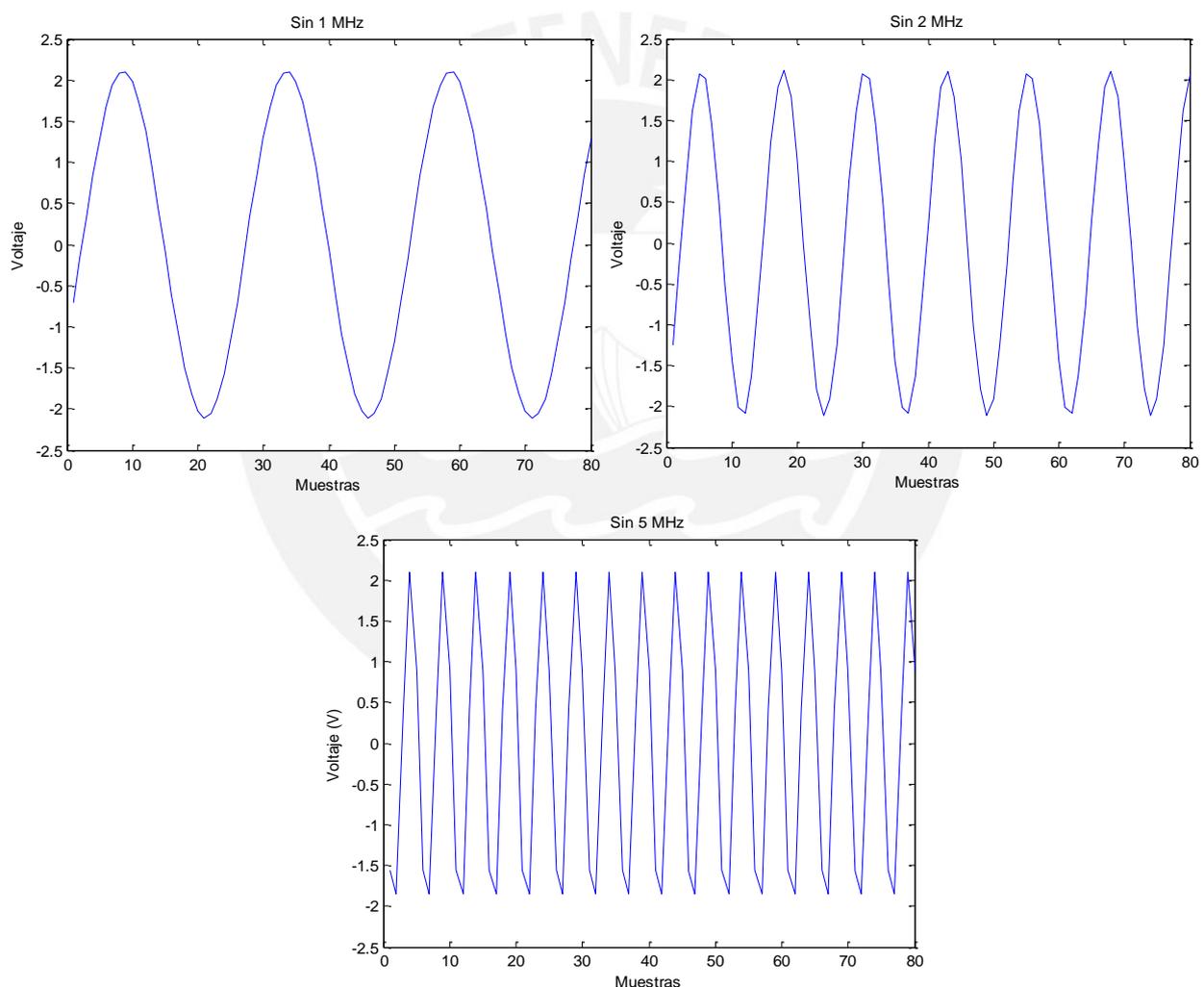


Figura 38 Ondas senoidales digitalizadas con la tarjeta de adquisición con frecuencia de 1, 2 y 5 MHz

La Figura 39 muestra la señal digitalizada para una señal senoidal de 13 MHz usando una frecuencia de muestreo de 25 MHz para comprobar el efecto aliasing.

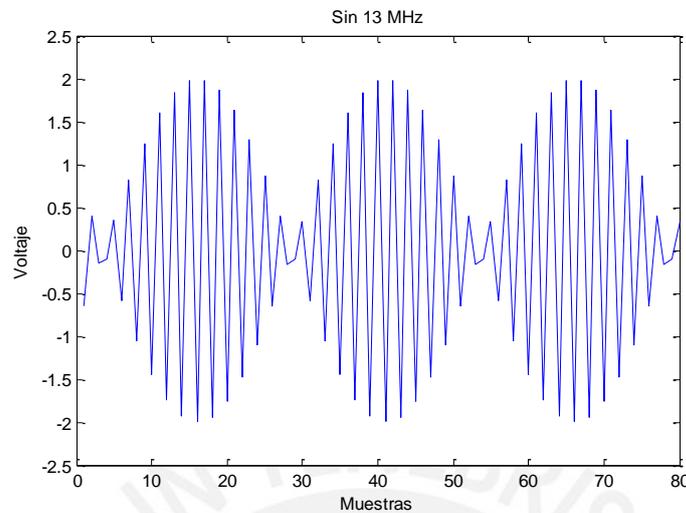


Figura 39 Onda senoidal reconstruida de frecuencia 13 MHz con efecto aliasing.

Luego de verificar el funcionamiento de la tarjeta de adquisición con el generador de señales se procedió a probar con la señal proveniente del transductor de ultrasonido generada por el emisor/receptor Panametrics 5800PR. Para estas pruebas se utilizó los siguientes parámetros:

Transductor Panametrics-NDT V306

- Frecuencia: 2.25 MHz

Parámetros de adquisición:

- Frecuencia de muestreo de 22 MHz.
- Cantidad de datos: 2000

Parámetros del Emisor/Receptor Panametrics NDT-5800PR

- Frecuencia de repetición de pulsos de 2KHz.
- Resistencia de amortiguamiento de 50 Ohmios
- Ganancia 40 dB

Se realizó promediado de 10, 25, 50 y 100 muestras y se utilizó agua desionizada como medio de propagación y el fondo del tanque como elemento reflector.

En la Figura 40 se aprecia la presencia de ruido en la señal adquirida que va disminuyendo a medida que se aumenta la cantidad de veces que se promedia la señal.

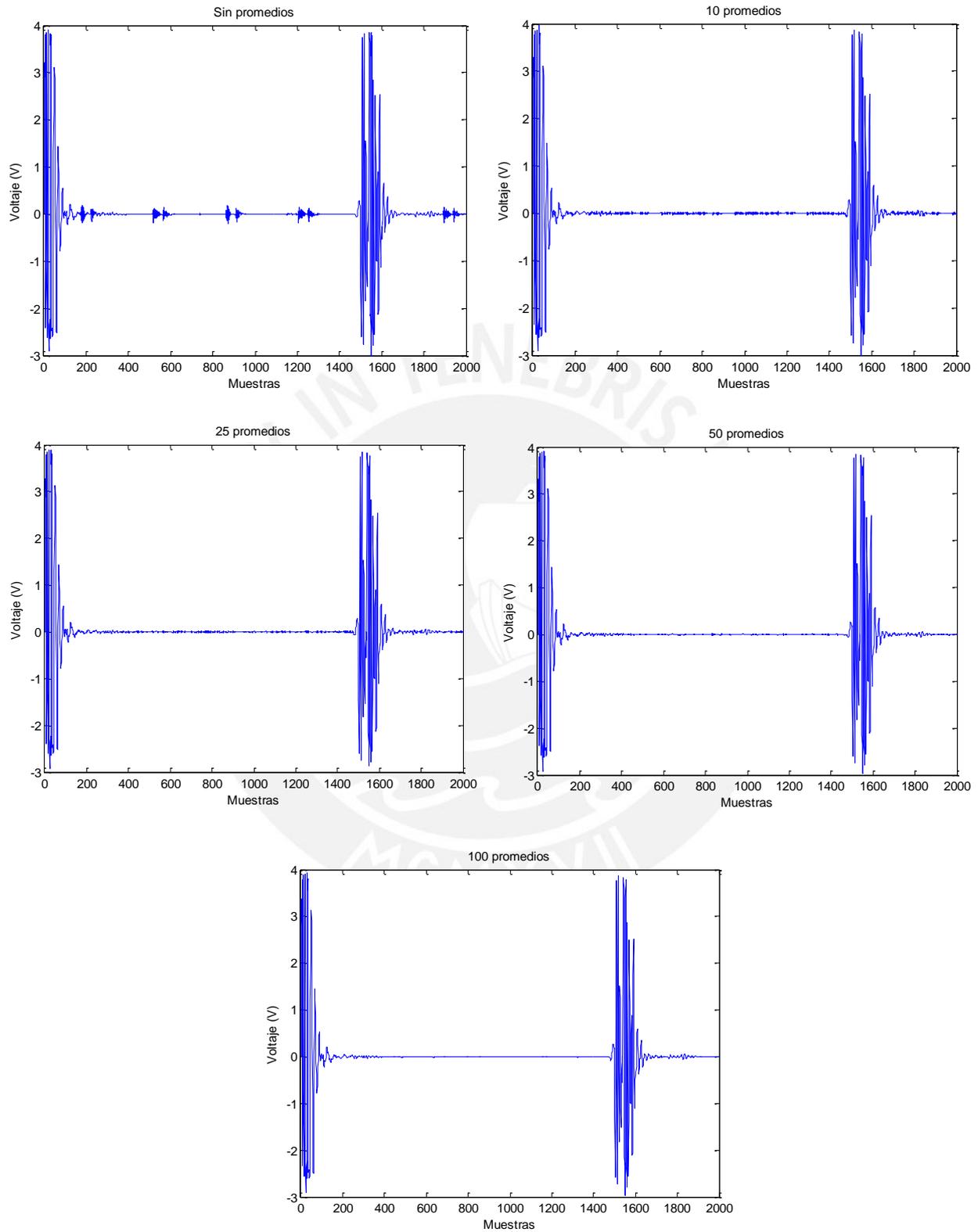


Figura 40 Datos adquiridos provenientes del transductor de ultrasonido con promediado de 1, 10, 25, 50 y 100 veces.

De los gráficos, se puede apreciar que el sistema digitaliza correctamente las señales para frecuencias 1, 2 y 5 MHz debido a que son frecuencias menores a la mitad de la frecuencia de muestreo. Adicionalmente se comprobó que la interfaz recibe y almacena correctamente los datos adquiridos por la tarjeta de adquisición.

III. Evaluación de exactitud de movimiento del sistema posicionador

Es necesario evaluar la exactitud que tiene el sistema posicionador en relación a la distancia recorrida y la distancia enviada desde la interfaz. Para ello se adquirieron datos utilizando el transductor de ultrasonido de distintas posiciones de una pieza metálica (Figura 41) de dimensiones: 5.8 cm de alto, 1.9 cm de ancho, 7.3 cm de largo y los escalones tienen una altura de 1.5 cm.

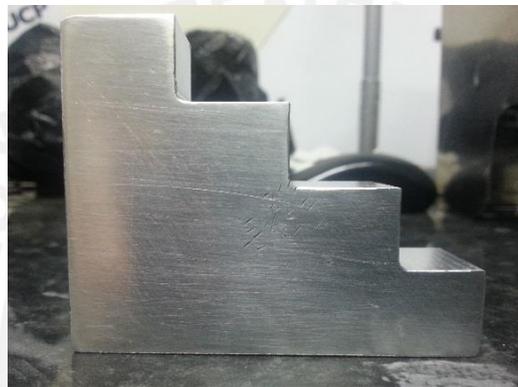


Figura 41 Pieza metálica utilizada en las pruebas

El espacio recorrido es producto de la velocidad del sonido (c) y el tiempo (t) de la señal, el cual es la inversa de la frecuencia de muestreo (f_s). Dado que el espacio recorrido (e) por la onda es de ida y vuelta, la distancia a la que se encuentra el objeto será la mitad y depende del número de muestras adquiridas (n), como se muestra en las siguientes fórmulas:

$$e = \frac{c \times n \times t}{2} \quad (1)$$

$$t = \frac{1}{f_s} \quad (2)$$

Debido a que se utilizó agua desionizada como medio de propagación, la velocidad del sonido depende de la siguiente fórmula [1]:

$$c(P, t) = 1402.7 + 488 t - 482t^2 + 135t^3 + (15.9 + 2.8t + 2.4t^2)\left(\frac{P}{100}\right) \quad (3)$$

Donde t es la temperatura y P la presión atmosférica.

Para estas pruebas se utilizó los siguientes parámetros:

Transductor Panametrics-NDT V306

- Frecuencia: 2.25 MHz

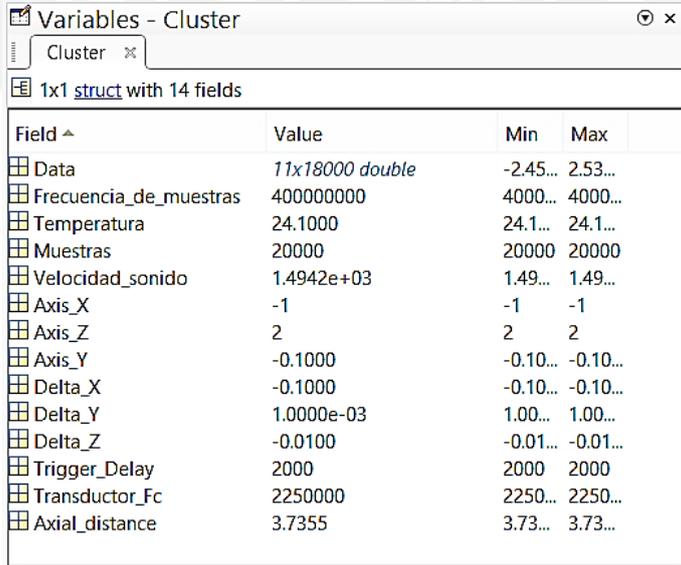
Parámetros de adquisición:

- Frecuencia de muestreo de 400 MHz.
- Promediado de muestras de 100 veces.
- Cantidad de datos: 12000

Parámetros del Emisor/Receptor Panametrics NDT-5800PR

- Frecuencia de repetición de pulsos de 1KHz.
- Resistencia de amortiguamiento de 50 Ohmios
- Ganancia 40 dB

El objetivo es desplazar el transductor verticalmente en la posición de mayor altura, adquirir los ecos de diferentes alturas y calcular la diferencia en datos entre dos ecos. Se realizaron pruebas con desplazamientos de 1mm, 0.5mm, 0.1mm, 0.05mm y 0.01mm del eje del posicionador y se adquirieron 11 muestras de cada desplazamiento. La Figura 42 muestra los datos adquiridos y los parámetros de adquisición en una estructura del programa Matlab.



Field ^	Value	Min	Max
Data	11x18000 double	-2.45...	2.53...
Frecuencia_de_muestras	400000000	4000...	4000...
Temperatura	24.1000	24.1...	24.1...
Muestras	20000	20000	20000
Velocidad_sonido	1.4942e+03	1.49...	1.49...
Axis_X	-1	-1	-1
Axis_Z	2	2	2
Axis_Y	-0.1000	-0.10...	-0.10...
Delta_X	-0.1000	-0.10...	-0.10...
Delta_Y	1.0000e-03	1.00...	1.00...
Delta_Z	-0.0100	-0.01...	-0.01...
Trigger_Delay	2000	2000	2000
Transductor_Fc	2250000	2250...	2250...
Axial_distance	3.7355	3.73...	3.73...

Figura 42 Datos obtenidos luego de la adquisición

Se utilizó la función XCORR del software Matlab, el cual mide la similitud entre dos señales desplazadas una de la otra, para calcular la diferencia en datos entre las señales. La Figura 43 muestra la posición del eco del transductor y el eco cuando es desplazado 1 mm.

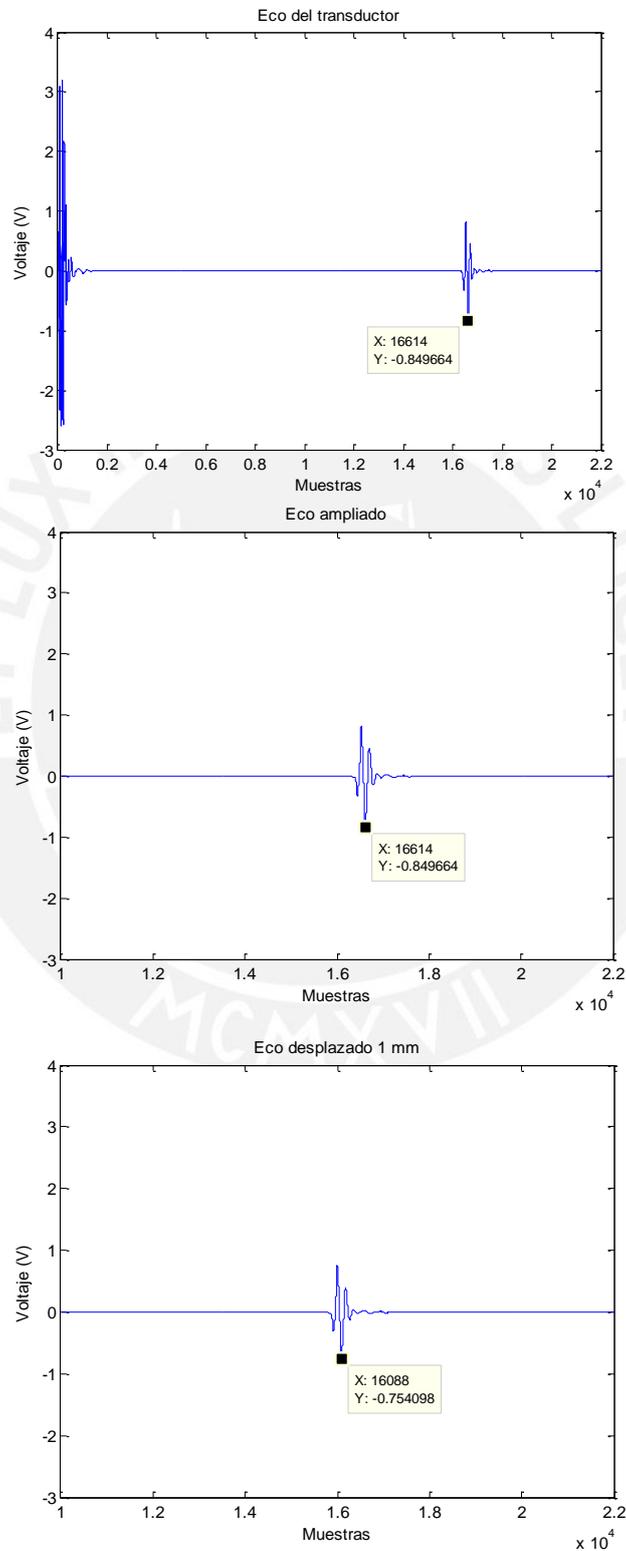


Figura 43 Desplazamiento de 1 mm del eje axial del posicionador.

En la Tabla 2 se muestra los resultados con desplazamientos de 1 mm para el eje axial (eje Z) y se calculó la diferencia en datos entre dos muestras y la distancia utilizando las formulas 1 y 2.

Tabla 2 Mediciones obtenidas con un desplazamiento de 1mm del eje axial

Desplazamiento 1 mm	Diferencia en muestras	Distancia (mm)
1-2	536	1.0011
2-3	531	0.9918
3-4	528	0.9862
4-5	536	1.0011
5-6	534	0.9974
6-7	539	1.0067
7-8	534	0.9974
8-9	529	0.988
9-10	531	0.9918
10-11	534	0.9974
Media aritmética	533.19	0.9959
Desviación estándar	3.1425395	0.0064

Se realizaron pruebas iguales para los diferentes desplazamientos como se muestra en la Tabla 3. Estos desplazamientos fueron realizados con un motor servo.

Tabla 3 Mediciones obtenidas para diferentes desplazamientos por el eje axial

Desplazamiento (mm)	Diferencia en muestras	Distancia media calculada (mm)	Desviación estándar (mm)
1	532.9976	0.9955	0.0053
0.5	266.0671	0.4969	0.0034
0.1	53.2659	0.0995	0.0018
0.05	26.5727	0.0497	0.0017
0.01	4.7463	0.0089	0.0008

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos para los ejes laterales (ejes X y Y), los cuales son muy similares. Estos desplazamientos fueron realizados por motores a pasos.

Tabla 4 Mediciones obtenidas para diferentes desplazamientos por los ejes laterales

Desplazamiento (mm)	Diferencia en muestras	Distancia media calculada (mm)	Desviación estándar (mm)
1	540.3959	1.0055	0.0125
0.5	269.0144	0.5005	0.0070
0.1	54.4289	0.1013	0.0032
0.05	27.3044	0.0508	0.0017
0.01	4.6805	0.0087	0.0024

Los resultados obtenidos con el sistema posicionador muestran que puede realizar movimientos con un error de exactitud menor al 1% para desplazamientos de hasta 0.1 mm, un error menor de 1.5% para desplazamientos de 0.05 mm y un error de 13% para desplazamientos de 0.01 mm.

Estas diferencias son causadas por el escalamiento utilizado para configurar los diferentes drivers. Los drivers de los motores a pasos tienen un mayor factor de escalamiento que permite realizar desplazamientos de hasta 1 μ m a diferencia de los drivers de los motores servo que tienen un menor factor de escalamiento. También es debido a que los ejes laterales soportan el peso causado por el eje axial.

IV. Formación de imágenes en modo-B

A partir de los datos de radiofrecuencia obtenidos se pueden formar imágenes en modo B, el cual muestra una sección transversal en dos dimensiones del tejido. Se construye a partir de ecos generados por la reflexión de las ondas de ultrasonido en la frontera del tejido.

Para formar una imagen en modo B, el transductor ultrasónico de un solo elemento envía de ráfagas o pulsos de ultrasonido. Cuando la onda de ultrasonido se encuentra en la frontera entre dos medios de diferentes propiedades acústicas, una parte de la energía de las ondas es reflejada en forma de eco hacia el transductor y el resto de la energía continúa propagándose. Luego se envía la siguiente ráfaga para la siguiente posición y este proceso se repite hasta que todo el objeto haya sido escaneada. La Figura 44 muestra el proceso mencionado.



Figura 44 Formación de imagen ultrasónica en modo-B

Se realizaron diversas pruebas para adquirir datos de radiofrecuencia y formar imágenes a partir de estos. Para ello se utilizó el maniquí multipropósito modelo 539 fabricado por la empresa ATS Laboratories [23], adquirido por el LIM, como nuestro objeto de pruebas. Este maniquí tiene 4 hendiduras a cada lado en donde se realiza la adquisición de datos según la superficie a escanear como se muestra en la Figura 45.

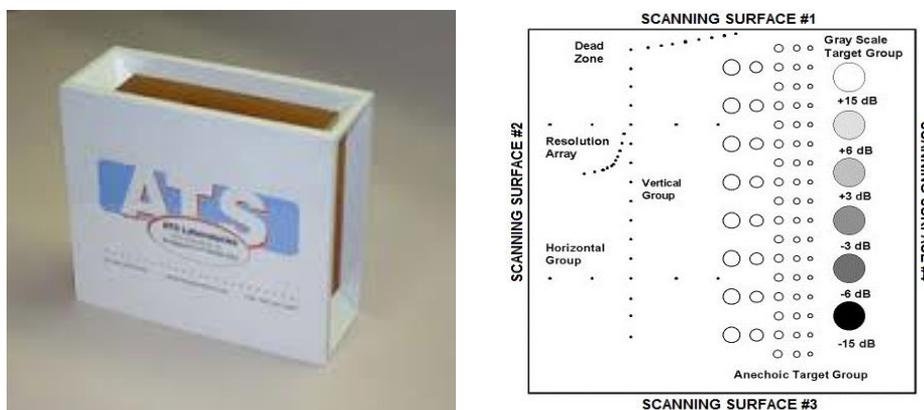


Figura 45 Maniquí 539 – ATS [23]

La resolución lateral de un transductor es afectada por el diámetro del haz enviado. Mientras menor sea el diámetro se podrán adquirir datos más precisos. Dado que el diámetro de haz del transductor utilizado (Panametrics-NDT V306) es de 1.338 mm, los datos adquiridos con un desplazamiento del transductor menor serán similares entre ellos.

Para realizar las siguientes pruebas se utilizó una frecuencia de muestreo de 22 MHz, PRF 800 Hz, resistencia de amortiguamiento de 50 ohmios, ganancia de 40 dB y promediado de 100 veces. Se utilizó agua desionizada como medio de propagación.

La primera prueba consistió en adquirir datos de la superficie #2, el cual consiste en varios filamentos de nylon de 0.12 mm de diámetro separados una distancia de 1 y 2 cm. Se realizó un movimiento lateral en el eje paralelo al maniquí con un desplazamiento de 0.5 mm entre posiciones de muestreo hasta recorrer una distancia total de 10 cm. En la Figura 46 se muestra la ubicación de los puntos en el maniquí multipropósito y una imagen en modo B de los datos obtenidos.

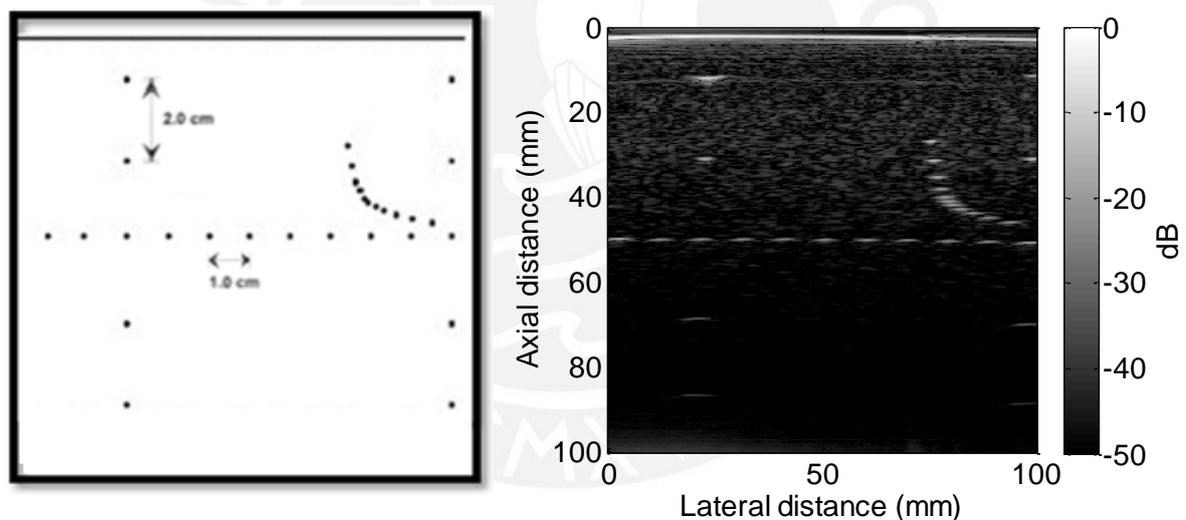


Figura 46 Superficie #1 e imagen modo-B obtenida

Debido a la resolución lateral del transductor, el punto de interés tiene una intensidad de brillo menor respecto a los datos adyacentes del punto y a mayor profundidad axial la intensidad es menor respecto a los puntos ubicados a menor profundidad.

La segunda prueba consistió en adquirir datos de la superficie #4, el cual consiste en 6 circunferencias ubicadas a 4 cm del borde, 1.5 cm de diámetro y distanciadas 2 cm una de la otra. Se realizó un movimiento lateral en el eje paralelo al maniquí con un desplazamiento de 0.5 mm entre posiciones de muestreo hasta recorrer una distancia total de 10 cm. En la Figura 47 se muestra las circunferencias escaneadas y el resultado obtenido.

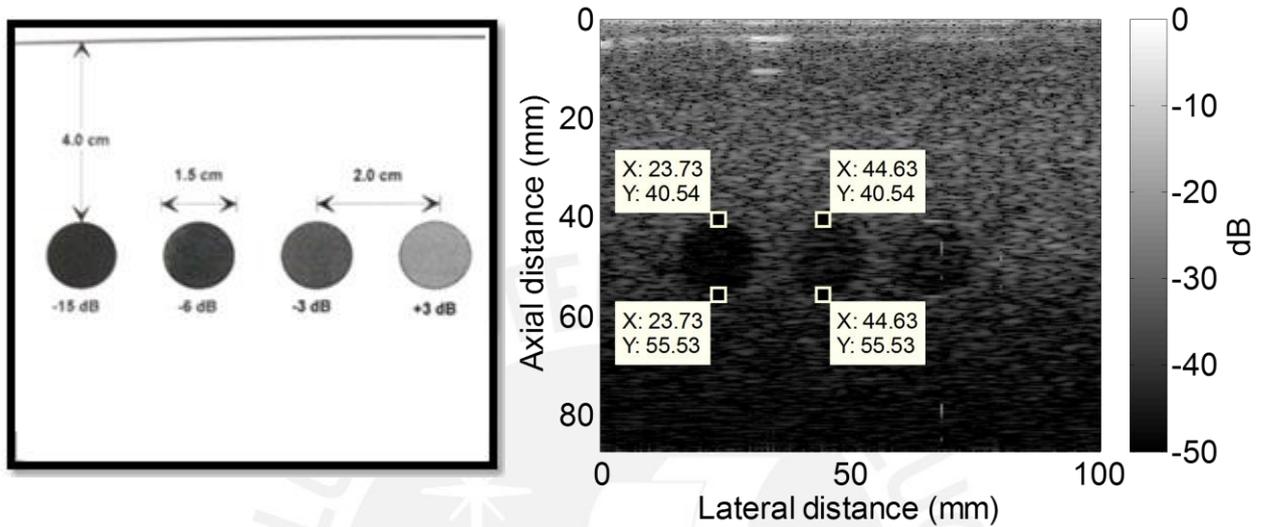


Figura 47 Superficie #3 e imagen modo-B obtenida

La tercera prueba consistió en adquirir datos de un maniquí de atenuación que contiene esferas de agar propiedad del LIM. Este maniquí tiene un borde de acrílico y una capa de plástico en la cubierta. Tiene una altura de 7 cm y un diámetro de 12 cm incluyendo el borde. En la Figura 48 se muestra el maniquí de atenuación y el resultado obtenido a partir de los datos adquiridos.

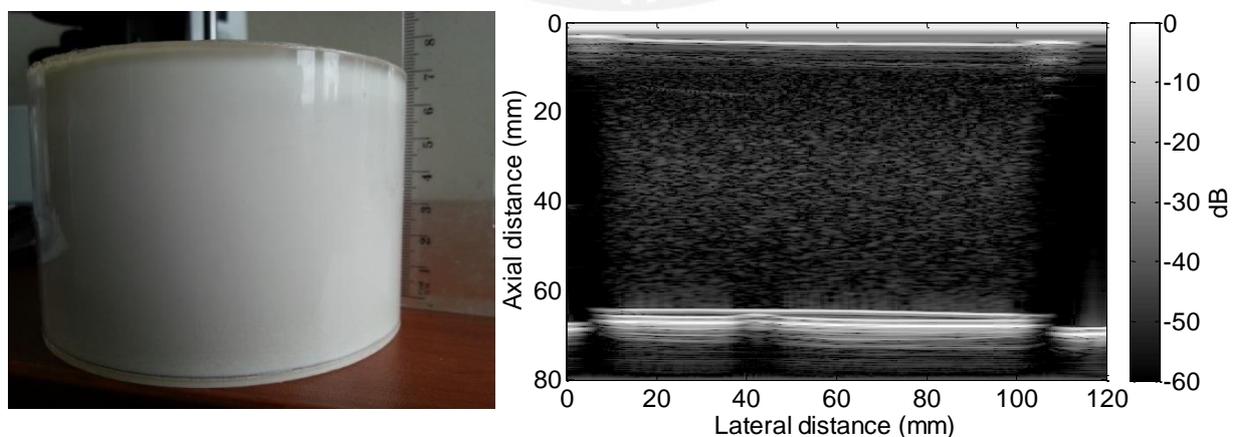


Figura 48 Maniquí de atenuación e imagen modo-B obtenida

También se utilizó un maniquí de dos capas de distinta atenuación hecho de agua con gelatina y leche con gelatina para poder diferenciarlos en una imagen modo B. El maniquí tiene una altura de 5 cm y un diámetro de 12 cm. En la Figura 49 se muestra el maniquí y el resultado obtenido a partir de los datos de radiofrecuencia.

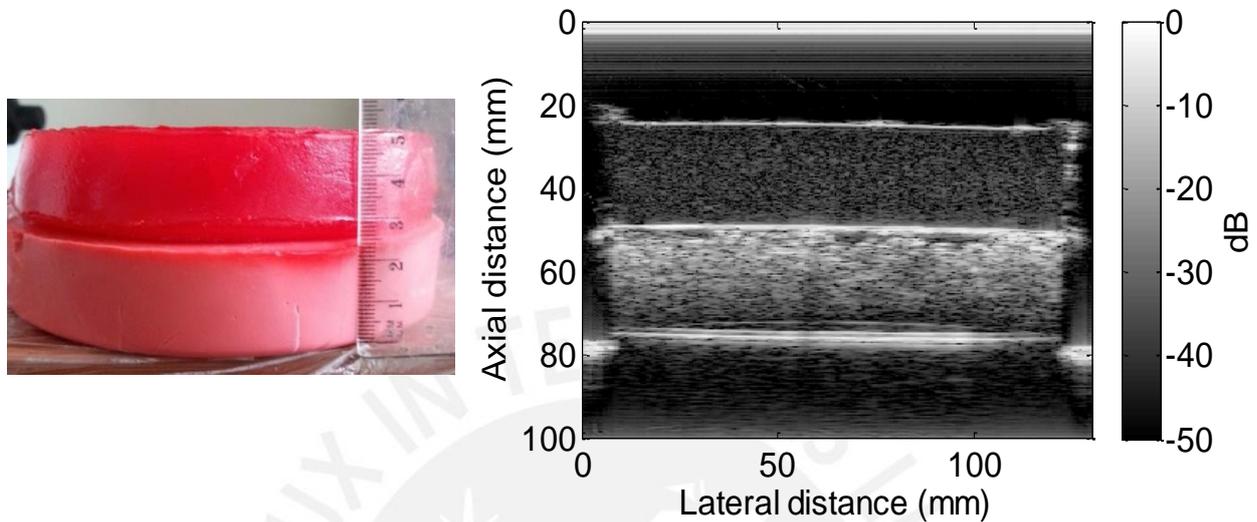


Figura 49 Maniquí de dos capas e imagen en modo-B obtenida

La última prueba consistió en adquirir datos de la pieza metálica y calcular las distancias entre cada escalón utilizando ultrasonido. En la Figura 50 se observa la pieza metálica y la imagen obtenida a partir de los datos de radiofrecuencia.

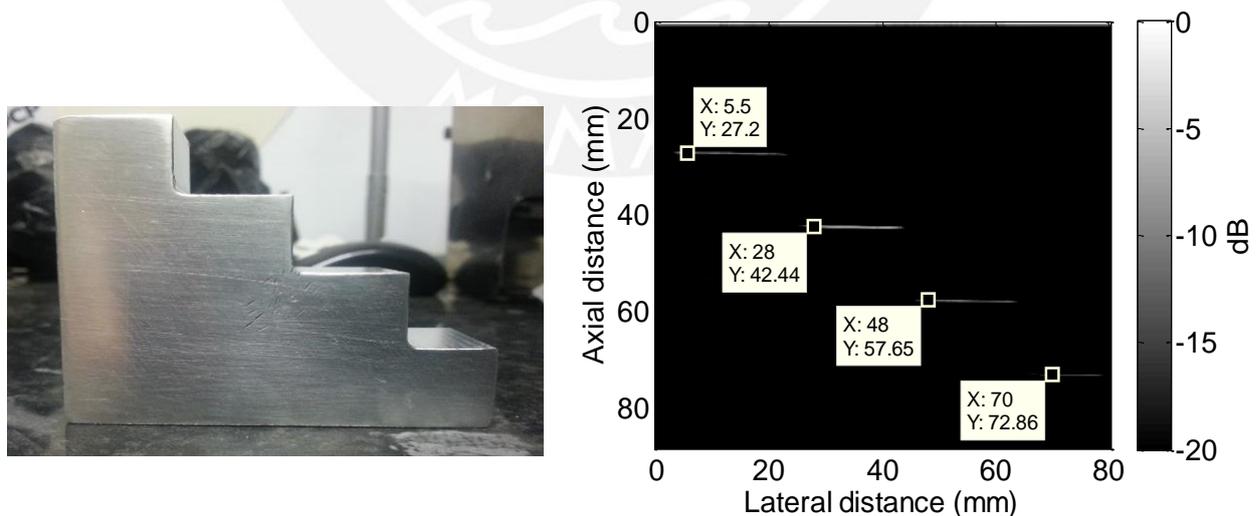


Figura 50 Pieza metálica e imagen modo-B obtenida

Para calcular las distancias se analiza la diferencia entre el número de datos entre cada separación. Se tomó como punto de referencia el punto más bajo de los ecos. La Figura 51 muestra los resultados obtenidos en esta prueba. Los ecos adquiridos están desfasados una distancia constante equivalente a la separación entre cada escalón. A partir de las fórmulas 1 y 2 podemos obtener la distancia entre cada escalón. La separación entre el primer y el segundo escalón es de 444 datos lo que equivale a 1.5044 mm. La separación entre el segundo y el tercer escalón es de 446 datos lo que equivale a 1.5145 mm. Finalmente, la separación entre el tercer y el cuarto escalón es de 447 datos lo que equivale a 1.5179 datos. El promedio de la distancia de los escalones es de 1.5134 y difiere en 13.4 um del valor real.

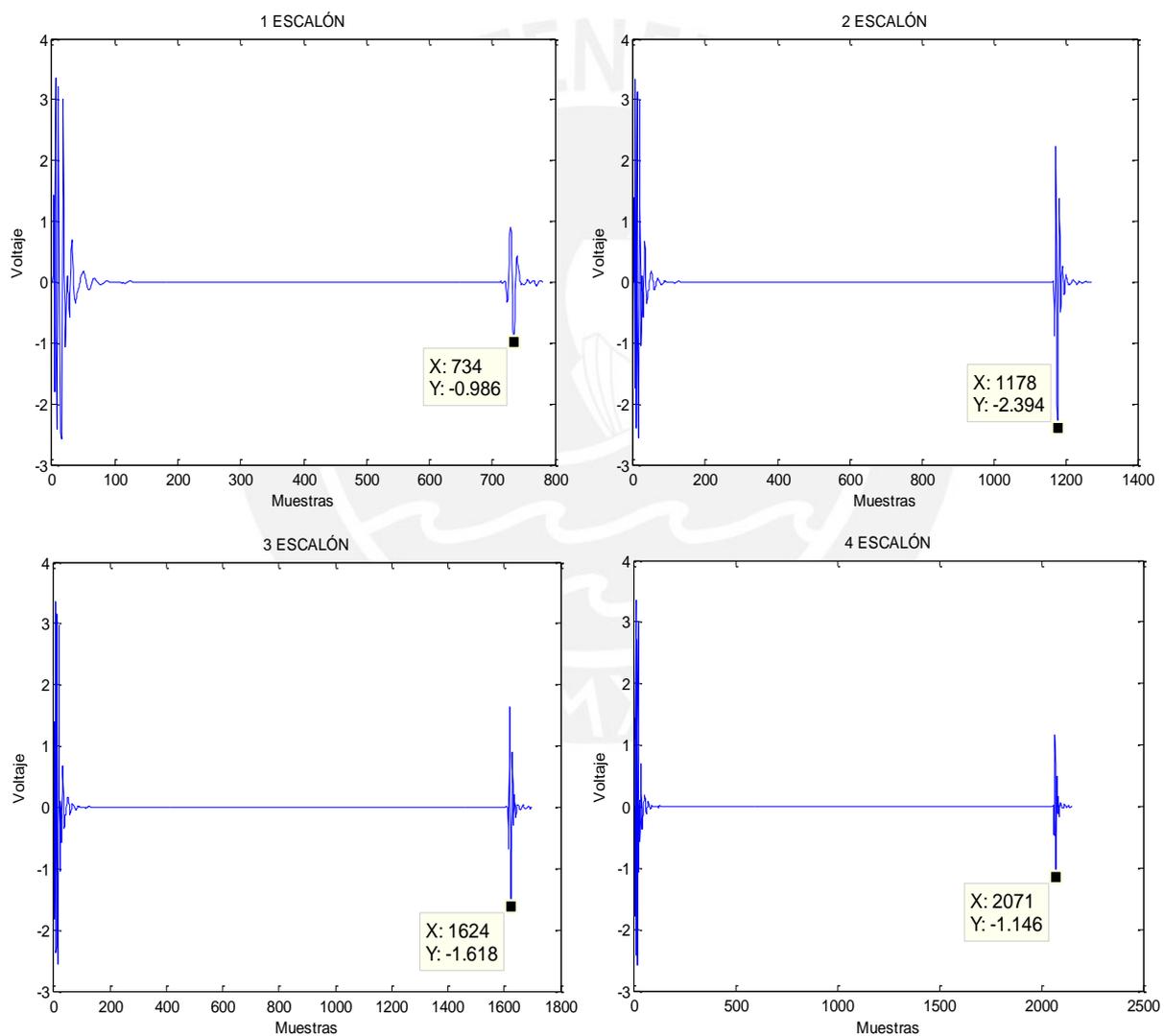


Figura 51 Ecos obtenidos de la pieza metálica

Los resultados mostrados en este capítulo muestran una interfaz gráfica que permite controlar los parámetros de adquisición y movimiento. Estos parámetros son almacenados en un archivo .mat para su posterior utilización.

El sistema desarrollado puede digitalizar señales ultrasónicas con una frecuencia máxima de 400 MHz, resolución de 14 bits, capacidad de promediar las señales obtenidas según lo requiera el usuario.

Se presentaron pruebas de formación de imágenes en modo-B de diferentes objetos mediante el software Matlab y se comprobó que el sistema adquiere y digitaliza correctamente los datos obtenidos para ser utilizados por el usuario para diferentes propósitos.

Para obtener una imagen en modo-B se realizó una detección de envolvente y una compresión logarítmica de los datos de radiofrecuencia con el software Matlab. En las gráficas mostradas se observa la similitud entre el objeto de prueba y la imagen modo-B obtenida.

Adicionalmente se implementó un bloque de formación de imágenes en modo-B mediante el software LabVIEW para verificar que los datos obtenidos sean correctos y tener una referencia del resultado.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que el sistema desarrollado ha cumplido los objetivos propuestos:

- Diseñar una interfaz gráfica que controle el sistema de adquisición de datos con el software LabVIEW.
- Diseñar el algoritmo del posicionador para recorrer el área de observación.
- Diseñar un sistema de protección para el sistema de adquisición.
- Controlar los parámetros de adquisición de datos y de movimiento.
- Evaluó la exactitud de movimiento del sistema posicionador utilizando sensores de ultrasonido.

La interfaz gráfica implementada es capaz de controlar los dispositivos utilizados en el sistema de adquisición de manera sincronizada. Permite controlar los parámetros de adquisición de la tarjeta DAQ, los movimientos del sistema posicionador y guardar todos los datos. A partir de los datos y parámetros adquiridos se logró generar una imagen en modo-B que represente de manera correcta las dimensiones de los objetos escaneados.

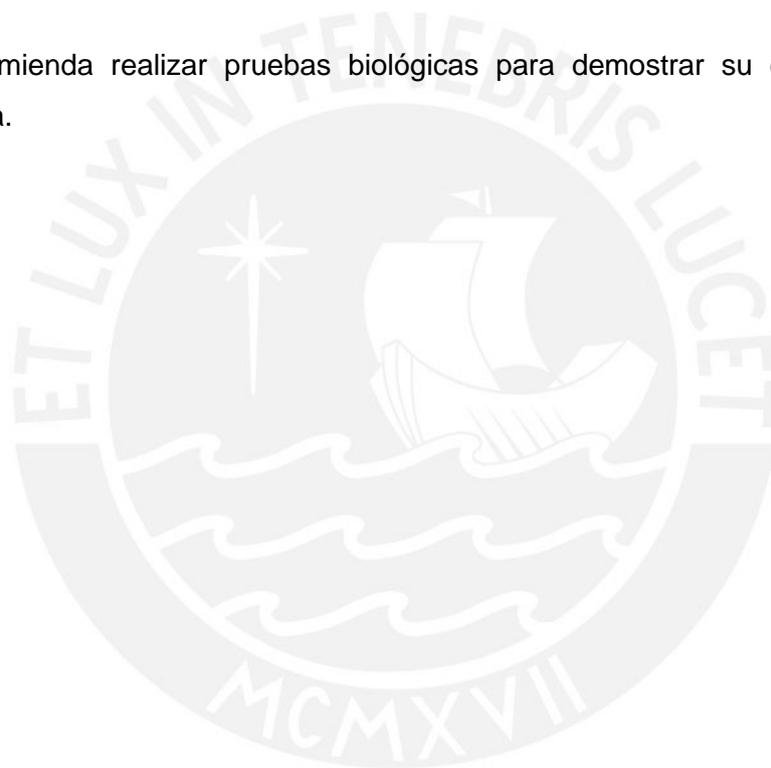
Se implementó un algoritmo que controla la tarjeta DAQ con el software LabVIEW capaz de adquirir ecos ultrasónicos de transductores con frecuencia central de hasta 20 MHz. El sistema de adquisición fue diseñado para trabajar con frecuencias desde 20 hasta 400 MHz y una resolución de 14 bits, lo cual fue validado en los resultados mostrados.

Se implementó un algoritmo que controla el sistema posicionador con el software LabVIEW capaz de realizar movimientos según el requerimiento del usuario, tiene un error de exactitud menor al 1% validado en la etapa de calibración.

RECOMENDACIONES

Finalizada la presente investigación, se recomienda lo siguiente para futuras versiones:

- Se recomienda implementar el control vía PC del generador de pulsos (Panametrics NDT- 5800 PR) para controlar el equipo desde la interfaz implementada.
- Se recomienda desarrollar un sistema de adquisición de varios canales debido a que los equipos comerciales utilizan arreglos de transductores (varios elementos) para la adquisición de datos.
- Se recomienda realizar pruebas biológicas para demostrar su efectividad en la medicina.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Kinsler, "Fundamentals of Acoustics". London: Chapman & Hall, 1950.
- [2] P. Suetens, "Fundamentals of Medical Imaging". Cambridge University Press, 2009
- [3] A.K. Choubey, R. Raushan, V. Manojkumar, "High-speed data acquisition system design". 1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics, Enero 2006, pp. 6-14.
- [4] I.A. Hein, J.A. Novakofski, W.D. O'Brien, Jr, "Ultrasound data acquisition system design for collecting high quality RF data from beef carcasses in the slaughterhouse environment," Proceedings. IEEE Ultrasonics Symposium, vol. 2, pp. 1039-1044, Octubre 1992.
- [5] R. Pallás, "Adquisición y Distribución de Señales". Barcelona: Marcombo, 1998.
- [6] J. Prince, J.M. Links, "Medical Imaging Signals and Systems". New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005
- [7] Ultrasonix (2012), Ultrasound Products. Consulta: 29 de Abril del 2014.
<http://www.ultrasonix.com/ultrasound-systems/sonixmdp>
- [8] Visualsonics (2008), Ultrasound Products. Consulta: 29 de Abril del 2014.
<http://www.visualsonics.com/products/vevo-2100>
- [9] Siemens (2008), Ultrasound Products. Consulta: 29 de Abril del 2014.
<http://www.healthcare.siemens.com/ultrasound/radiology/acuson-antares-ultrasound-system/use>
- [10] Verasonics (2012), Ultrasound Products. Consulta: 29 de Abril del 2014.
<http://www.ultrasonix.com/ultrasound-systems/sonixmdp>
- [11] Onda, AIMS III Acoustic Intensity Measurement System. Consulta: 05 de Setiembre del 2013.
http://www.ondacorp.com/products_testingsol_scanningsystem.shtml
- [12] Olympus (2006), 5800PR Product Overview. Consulta: 16 de Mayo del 2014.
<http://www.olympusndt.com/en/5800pr/>
- [13] Olympus (2006), 5072PR Product Overview. Consulta: 16 de Mayo del 2014.
<http://www.olympus-ims.com/en/5072pr/>
- [14] Olympus (2006), "Ultrasonic Transducers Technical Notes". Consulta: 07 de Junio del 2014.
<https://www.olympus-ims.com/data/File/panametrics/UT-technotes.en.pdf>

- [15] Strategic-Test, UF3-4142 Waveform digitizer. Consulta: 21 de Mayo del 2014.
http://www.strategic-test.com/support/download/UF3-4100_Datasheet.pdf
- [16] Parker, 6K Series Command Reference. Consulta: 28 de Marzo del 2014.
http://www.parkermotion.com/manuals/6k/6K_Command_Reference.pdf
- [17] Parker, E-AC Drive Hardware installation guide. Consulta 27 de Marzo del 2014.
<http://www.parkermotion.com/manuals/e-series/e-series.html>
- [18] Parker, Aries User Guide. Consulta 27 de Marzo del 2014.
<http://www.parkermotion.com/manuals/e-series/e-series.html>
- [19] Parker, 402/403/404XE Series Product Manual. Consulta 03 de Mayo del 2014.
http://www.parkermotion.com/literature/precision_cd/CD-EM/Service/xeprodmanrev2.pdf
- [20] ATS Laboratories, Model 539 Multipurpose Ultrasound Phantom. Consulta 28 de Noviembre del 2014.
<http://www.atlaboratories-phantoms.com/page5/styled-2/index.htm>
- [21] National Instruments, “Cómo Escoger el Bus Adecuado para su Sistema de Medida”
Consulta: 07 de Setiembre del 2014.
<http://www.ni.com/white-paper/9401/es/#h42>
- [22] MAT-File IO Library for LabVIEW. Consulta 28 de Junio del 2014.
<http://matio-labview.sourceforge.net/>
- [23] Parker, LV & HV Step Motors. Consulta 27 de Noviembre del 2013.
http://www.parkermotion.com/literature/precision_cd/CD-EM/compumotor/cat/english/LVHV_flier.pdf
- [24] Parker, SM & SE Series Motor. Consulta 27 de Noviembre del 2013.
http://www.parkermotion.com/literature/precision_cd/CD-EM/compumotor/cat/english/SM_SE_Series.pdf