

**Universidad Tecnológica de Bolívar**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Tesis de Pregrado**



**Universidad  
Tecnológica  
de Bolívar**

CARTAGENA DE INDIAS



**ACREDITADA  
INSTITUCIONALMENTE**  
Resolución MEN 1166 de 2011

**“Diseño e Implementación de un sistema de  
Calibración de olas generadas en el canal de  
pruebas de la Escuela Naval de cadetes  
Almirante Padilla ”**

Tesis que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecatronico**

Presenta:

**Henry Remberto Escobar Blanco**  
**Victor Alfonso Tilve Salgado**

*Tutor:*

**PHD Jairo CABRERA**

20 de febrero de 2017

## DEDICATORIA

*“Toda buena dádiva y todo don perfecto desciende de lo alto, del Padre de las luces, en el cual no hay mudanza, ni sombra de variación.”*  
*Santiago 1:17*

*Este trabajo de grado lleva como dedicatoria, primeramente, a Dios, Nuestros padres, Hermanos, demás familiares y amigos, que estuvieron siempre con nosotros en este proceso, fueron Nuestro motor de arranque y hoy somos unos profesionales gracias a todos sus esfuerzos y constancia.*

## Agradecimientos

Yo, Victor alfonso tilve salgado, agradezco primeramente a mis padres por todo el apoyo que me han brindado en mi formación académica, en los sacrificios que llevaron a cabo todos estos años de estudio para que cumpliera con uno de los tantos objetivos que tengo para mi vida, convertirme en un profesional. A mis hermanos y demás familiares por creer en mi, por haber sido soporte para mi crecimiento personal y que me ayudasen a ser la persona que soy hoy.

Agradezco enormemente a nuestro director de tesis, Jairo cabrera; su incondicional respaldo, conocimientos, paciencia, dedicación y acompañamiento permitieron que fuera posible este trabajo de grado. Agradecimientos a Alcides Ramos, persona que siempre estuvo dispuesto a brindarnos su ayuda en cuento a las dudas que surgieron durante la realización de nuestro trabajo de grado.

Por ultimo, y no menos importante, dar las gracias a la Universidad Tecnológica de Bolívar y a su programa de becas "Premio a la excelencia y

talento caribe” por darme la oportunidad de ser acreedor de tal galardón y permitir que me desarrollara como profesional.

Yo, Henry Remberto Escobar Blanco, agradezco primeramente a Dios por permitir abrirme camino como profesional, siempre respaldándome en todas las pruebas y caídas que se me presentaron en este duro camino como es la vida Universitaria, por otro lado, me brindo tener el privilegio de conocer personas que expandieran mis conocimientos y me convirtiera en el profesional que soy. Agradezco a mis padres por ser ese Alma Mater que me motivaba a seguir adelante y reconocer cada uno de sus sacrificios, que muchas se negaron cosas para brindarme una estabilidad económica, a mi hermana por ser ese ejemplo de profesionalismo y entrega por las cosas que se proponen y a mis demás Familiares por siempre apoyarme moralmente en este gran camino.

Agradezco también a mi Director de Tesis, Jairo Humberto Cabrera, por disponer su tiempo en asesorar este trabajo para que cumpliera con todos los estándares y sobretodo siempre tener una buena actitud para corregirnos, Agradezco enormemente al Profesor Alcides Ramos, por ser una persona incondicional y siempre dispuesta a brindar una pronta ayuda, está de más recalcar su gran profesionalidad y talento para la enseñanza.

Por últimos, Agradezco a mi Universidad Tecnológica de Bolívar, por contar con un cuerpo de profesorado capacitado y siempre con ánimos de enseñar, hoy puedo decir que profesionalmente les debo todo, gracias a esta institución pude no solamente cumplir mi sueño de ser profesional, sino que pude conocer la mejor universidad de Latinoamérica que es el Tecnológico de Monterrey, donde tuve el privilegio de terminar mis estudios y expandir mis conocimientos.

## Resumen

El presente proyecto, Diseño e Implementación de un sistema de Calibración de olas generadas en el canal de pruebas de la Escuela Naval de cadetes Almirante Padilla”, tiene como intención el determinar las frecuencias y amplitudes de onda de las olas producidas por el generador en dos puntos seleccionados a distintas velocidades.

Para obtener la información característica de las olas, en los lugares seleccionados, fue necesario desarrollar un dispositivo capaz de hacer el registro del recorrido que hace la ola sobre esos puntos por lo que principalmente se determinó qué tipo de sensores fueron capaz de registrar los cambios que presenta el nivel del agua cuando es excitada por el generador de olas. Seguido a esto se desarrolló la electrónica necesaria para que la información que leyó el sensor fuera captada y enviada vía inalámbrica al computador en el que se realizó la gráfica en tiempo real de los datos que se fueron obteniendo, así como el registro de los mismos para posteriormente analizarlos.

Los datos se guardaron en un archivo ".txt" con una herramienta de software matemático se procedió a caracterizar los datos obtenidos. Se realizaron múltiples pruebas sobre un mismo punto y mismas condiciones para ver qué tan estable era el comportamiento por lo que al momento de procesar los datos se superpusieron las distintas señales para una misma condición de prueba. Se hizo el análisis de la señal característica para cada condición planteada y se obtuvo la onda ideal con su respectiva amplitud y frecuencia.

Estos resultados fueron útiles para tener conocimiento sobre las condiciones en las que se está exponiendo el modelo de buque con el que se desee experimentar y tener más control sobre las pruebas realizadas.

## Contenido

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>VI</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo General . . . . .	3
1.2. Objetivos Específicos . . . . .	3
1.3. Descripción del problema . . . . .	4
1.4. Formulación del problema . . . . .	4
1.5. Justificación . . . . .	5

<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>6</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	<b>19</b>
3.1. Conceptos básicos de teoría de olas . . . . .	19
3.2. Conceptos y electrónica utilizada . . . . .	28
<b>4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CALIBRACIÓN Y EL ABSORBEDOR DE OLAS</b>	<b>34</b>
4.1. Descripción y estado del Canal de pruebas . . . . .	34
4.2. Desarrollo del prototipo . . . . .	40
4.2.1. Valoración del Microcontrolador . . . . .	43
4.2.2. Valoración de sensores . . . . .	44
4.2.3. Valoración de los sistemas de comunicación inalámbrica	51
4.2.4. Valoración de programadores . . . . .	54
4.2.5. Valoración de software . . . . .	58

4.2.5.1.	Programa para Simular comunicación serial . . . . .	58
4.2.5.2.	Programas para el diseño de circuitos electrónicos . . . . .	60
4.2.5.3.	Compiladores . . . . .	64
4.2.6.	Diseño del prototipo . . . . .	72
4.2.6.1.	Presostato de lavadora Samsung . . . . .	72
4.2.6.2.	Sensor ultrasónico <i>HC-SR04</i> . . . . .	81
4.2.6.3.	Sensor de presión <i>MP3V5004DP</i> . . . . .	89
4.3.	Diseño del programa de toma de datos . . . . .	96
4.4.	Manejo del sistema . . . . .	99
4.5.	Absorbedor de olas . . . . .	101
4.6.	Procesamiento de Datos . . . . .	104
4.7.	Diseño de experimentos . . . . .	106

<b>5. RESULTADOS</b>	<b>110</b>
5.1. Pruebas Sin Absorbedor . . . . .	113
5.1.1. Sensor Ultrasónico . . . . .	113
5.1.2. Sensor de Presión . . . . .	138
5.2. Pruebas con Absorbedor . . . . .	154
5.2.1. Sensor Ultrasonico . . . . .	154
5.2.2. Sensor de Presión . . . . .	178
5.3. Tablas de resúmenes . . . . .	197
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>199</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	199
6.2. Recomendaciones . . . . .	202
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>204</b>
<b>ANEXO</b>	<b>209</b>

## Índice de figuras

<b>2-1.</b> Dimensiones del CIEM [16] . . . . .	8
<b>2-2.</b> Imagen de la universidad de Ghent [17] . . . . .	9
<b>2-3.</b> Canal de la Universidad de Manchester. [19] . . . . .	10
<b>2-4.</b> Canal en el colegio Universitario de Londres. [19] . . . . .	10
<b>2-5.</b> Canal de la Escuela Central de Nantes. [19] . . . . .	11
<b>2-6.</b> Canal en la Universidad de Edimburgo. [19] . . . . .	12
<b>2-7.</b> Canal del laboratorio de Hidráulica en IPN. [18] . . . . .	13

2-8. Vista general del generador de ondas. . . . .	16
2-9. Pruebas de canal y medidores de ondas instaladas . . . . .	18
2-10. Instrumentación esquema utilizado en el generador de ondas. . . . .	18
2-11. Banco de la opinión instrumentación y guías de ondas . . . . .	18
3-1. Características de las olas. . . . .	20
3-2. Perfil de ola propuesta por Stokes . . . . .	23
3-3. Onda solitaria. . . . .	23
3-4. Espectro de ola por poco tiempo. . . . .	24
3-5. Pallet de bisagra con control de posición simple. . . . .	26
3-6. Pallet de bisagra donde el volumen es mucho menor. . . . .	26
3-7. Pallet de pistón con control de simple posición. . . . .	26
3-8. Menor volumen de regreso de ola . . . . .	27
3-9. Componentes Electrónicos Básicos. [31] . . . . .	32

4-1.	(a) Carro remolcador, modelo de buque para pruebas y sistema de adquisición de datos. (b) Canal para pruebas de modelos de buque de la escuela naval de cadetes "Almirante Padilla". . . . .	36
4-2.	(a) Sistema receptor de señal y de control de velocidad del generador de olas y del carro remolcador. (b) Sistema de control para desplazamiento de carro y generador de olas. . . . .	36
4-3.	Generador de Olas presente en el canal de pruebas de la Escuela Naval Almirante Padilla [1] . . . . .	37
4-4.	Interfaz gráfica que se usa para realizar las pruebas en el canal de Pruebas de la Escuela Naval. . . . .	38
4-5.	Motor Eléctrico que acciona el generador de olas . . . . .	40
4-6.	Procesos a llevar a cabo por el prototipo y software a diseñar	41
4-7.	Prototipo . . . . .	42
4-8.	(a) Características del PIC12F683 [23].(b) Características del PIC16F688 [23].(c) Características del PIC16F684 [23]. . . . .	43
4-9.	(a) Sensor ultrasónico HC-SR04 [50].(b) Funcionamiento del sensor ultrasónico HC-SR04 [46]. . . . .	45
4-10.	Sensor Ultrasónico SRF04 [25] . . . . .	47

4-11.Sensor de presion MPX2010DP [26]	49
4-12.Presostato [45]	50
4-13.Sensor de presión MP3V5004DP [30]	51
4-14.Módulo Xbee serie 1 [51]	53
4-15.Módulo Nrf24l01 [28]	54
4-16.Pickit 2 [38]	55
4-17.Pickit 3 [37]	56
4-18.tab serial de utilidad Hercules [34]	59
4-19.Esquema electronico [33]	61
4-20.Simulación del Circuito Electrónico [33]	61
4-21.Netlist Circuito [33]	62
4-22.Diseño 3D del circuito [33]	62
4-23.Esquemático del Programa EAGLE [39]	64

4-24.Mikroc for PIC [35] . . . . .	65
4-25.Workspace de Ccs [40] . . . . .	67
4-26.Área de trabajo de MPLab [41] . . . . .	68
4-27.Ventana del Panel Frontal, Barras de Herramientas y Paleta de Controles [36] . . . . .	69
4-28.Terminales de Indicador, Cables, Nodos, Terminales de Con- trol [36] . . . . .	70
4-29.Diagrama de Bloques [36] . . . . .	71
4-30.Componentes del presostato de lavadora [52]. . . . .	73
4-31.Diseño esquemático de circuito:Presostato. . . . .	74
4-32.Diseño PCB de circuito:Presostato. . . . .	76
4-33.a resultado despues de quitar el exceso de cobre.b Resultado final . . . . .	77
4-34.Diseño esquemático de circuito:Ultrasónico. . . . .	82
4-35.Diseño PCB de circuito:Ultrasónico. . . . .	85

4-36.(a) Diseño sensor ultrasónico: resultado después de quitar el exceso de cobre.b Resultado final . . . . .	86
4-37.(a) Protitipo final: Sensor MP3V5004DP . (b) Conexiones internas. . . . .	87
4-38.Diagrama de lógica empleada en el Algoritmo 2 del Anexo . . .	88
4-39.Diseño esquemático de circuito: Sensor de presión MP3V5004DP. . . . .	91
4-40.Diseño PCB de circuito: Sensor de presión MP3V5004DP. . . .	92
4-41.(a) Diseño PCB de circuito: Sensor MP3V5004DP en físico. b)Diseño PCB de circuito: Sensor de presión MP3V5004DP en Montaje. . . . .	93
4-42.(a) Protitipo final: Sensor MP3V5004DP . (b) Conexiones internas. . . . .	94
4-43.Diagrama de lógica empleada en el algoritmo 3 del Anexo . . .	95
4-44.Diagrama de lógica empleada la programación a bloques del programa realizado en labview . . . . .	96
4-45.Lógica a bloques del programa para la toma de datos . . . . .	98
4-46.Programa para la toma de datos . . . . .	99

4-47.Sistema de Amortiguacion de Olas. . . . .	102
4-48.Proceso de Construcción e implementacion del absorbedor de olas . . . . .	103
4-49.Diagrama de lógica empleada en el algoritmo 5, algoritmo 6, algoritmo 7 del Anexo . . . . .	105
4-50.Diseño de experimentos. . . . .	106
4-51.Ilustración de los puntos del canal analizados. . . . .	107
4-52.Pruebas Realizadas-Sensor Presión -Sensor Ultrasonico. a Sen- sor de Presión y Ultrasonico Tomando medidas en el mismo punto. b Sensor Ultrasonico Ubicado en el Punto 1. c Sensor de Presión Ubicado en el Punto 1. . . . .	109
5-1. Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. a Señales originales superpuestas. b Señales originales super- puestas y recortadas a 1/4. c Señales antes y después de apli- car el filtro Savitzky-Golay. d Antes y despues de aplicar el alineamiento. . . . .	115
5-2. Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Primer tramo de señales superpuestas . . . . .	116
5-3. Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Señal promediada . . . . .	117

5-4.	Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Análisis de señal promediada- algoritmo 6 . . . . .	118
5-5.	Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	118
5-6.	Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6 . . . . .	119
5-7.	Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	120
5-8.	Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. a Señales originales superpuestas. b Señales originales superpuestas y recortadas a 1/4. c Señales antes y después de aplicar el filtro Savitzky-Golay. d Antes y después de aplicar el alineamiento. . . . .	122
5-9.	Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Primer tramo de señales superpuestas . . . . .	123
5-10.	Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Señal promediada . . . . .	123
5-11.	Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Análisis de señal promediada- algoritmo 6 . . . . .	124
5-12.	Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	125

<b>5-13.</b> Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6 . . . . .	126
<b>5-14.</b> Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	128
<b>5-15.</b> Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Primer tramo de señales superpuestas . . . . .	127
<b>5-16.</b> Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Análisis de señal promediada- algoritmo 6 . . . . .	128
<b>5-17.</b> Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	129
<b>5-18.</b> Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6 . . . . .	130
<b>5-19.</b> Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	131
<b>5-20.</b> Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Primer tramo de señales superpuestas . . . . .	132
<b>5-21.</b> Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Señal promediada . . . . .	133

5-22.Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Análisis de señal promediada- algoritmo 6 . . . . .	134
5-23.Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	135
5-24.Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. a) Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6. b) Onda ideal - Algoritmo 6. . . . .	137
5-25.Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. b) Primer tramo de señales superpuestas b) Primer tramo de señales superpuestas luego de ser filtrada c) Señal promedio .	139
5-26.Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6 b) Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	145
5-27.Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. a)Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7 b) Onda ideal - Algoritmo 7 . . . . .	146
5-28.Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. a) Primer tramo de señales superpuestas b) Señal promedio . . .	147
5-29.Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6 b) Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	148

<b>5-30.</b> Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. a)Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7 b) Onda ideal - Algoritmo 7 . . . . .	149
<b>5-31.</b> Sensor de presión- sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. b) Primer tramo de señales superpuestas c) Señal promedio . . .	150
<b>5-32.</b> Sensor de presión- sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. a) Primer tramo de señales superpuestas b) Señal promedio . . .	151
<b>5-33.</b> Sensor de presión- sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6 b) Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	152
<b>5-34.</b> Sensor de presión- sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. a)Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7 b) Onda ideal - Algoritmo 7 . . . . .	153
<b>5-35.</b> Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. a Señales originales superpuestas. b Señales originales super- puestas y recortadas a 1/4. c Señales antes y después de apli- car el filtro Savitzky-Golay. d Antes y despues de aplicar el alineamiento. . . . .	156
<b>5-36.</b> Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Primer tramo de señales superpuestas . . . . .	157
<b>5-37.</b> Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Señal promediada . . . . .	157

5-38.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Análisis de señal promediada- algoritmo 6 . . . . .	158
5-39.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	159
5-40.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6 . . . . .	160
5-41.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	160
5-42.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. a Señales originales superpuestas. b Señales originales superpuestas y recortadas a 1/4. c Señales antes y después de aplicar el filtro Savitzky-Golay. d Antes y después de aplicar el alineamiento. . . . .	162
5-43.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Primer tramo de señales superpuestas . . . . .	163
5-44.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Señal promediada . . . . .	164
5-45.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Análisis de señal promediada- algoritmo 6 . . . . .	165
5-46.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	166

5-47.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Al- goritmo 6 . . . . .	167
5-48.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	167
5-49.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Primer tramo de señales superpuestas . . . . .	168
5-50.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Análisis de señal promediada- algoritmo 6 . . . . .	169
5-51.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	170
5-52.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Al- goritmo 6 . . . . .	171
5-53.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	171
5-54.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Primer tramo de señales superpuestas . . . . .	172
5-55.Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Señal promediada . . . . .	173

<b>5-56.</b> Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Análisis de señal promediada- algoritmo 6 . . . . .	174
<b>5-57.</b> Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	175
<b>5-58.</b> Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6 . . . . .	177
<b>5-59.</b> Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	177
<b>5-60.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. a) Primer tramo de señales superpuestas b) Primer tramo de señales superpuestas luego de ser filtrada c) Señal promedio .	179
<b>5-61.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. b) Análisis de señal promediada- algoritmo 6 b) Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	186
<b>5-62.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. a)Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7 b) Onda ideal - Algoritmo 7 . . . . .	187
<b>5-63.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. a) Primer tramo de señales superpuestas b) Señal promedio .	188

<b>5-64.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6 b) Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	189
<b>5-65.</b> Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. a)Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7 b) Onda ideal - Algoritmo 7 . . . . .	190
<b>5-66.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. a) Señales originales superpuestas. b) Primer tramo de señales superpuestas c) Señal promedio. . . . .	191
<b>5-67.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6 b) Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	192
<b>5-68.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. a)Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7 b) Onda ideal - Algoritmo 7 . . . . .	193
<b>5-69.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. a) Primer tramo de señales superpuestas b) Señal promedio .	194
<b>5-70.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6 b) Onda ideal - Algoritmo 6 . . . . .	195
<b>5-71.</b> Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. a)Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7 b) Onda ideal - Algoritmo 7 . . . . .	196

## Lista de Tablas

4-1. Datos obtenidos en las mediciones hechas con el presostato . . .	80
5-1. Tabla de resultados sin absorbedor de olas . . . . .	197
5-2. Tabla de resultados con absorbedor de olas . . . . .	198

## Índice de algoritmos

1. Algoritmo para la lectura de frecuencias a partir de interrupciones por timer [44]. . . . . 211
2. Algoritmo para la lectura de distancia del sensor *HC-SR04* a partir del timer1 . . . . . 212
3. Algoritmo para la lectura del sensor de presión MP3V5004DP. . 213
4. Algoritmo para el muestreo de los datos obtenidos a lo largo del tiempo . . . . . 214
5. Algoritmo para la interpretación de datos y Obtención de Gráficas correspondientes . . . . . 215

6.	Algoritmo para el procesamiento de las señales: Calcular amplitud y período - Método 1 . . . . .	217
7.	Algoritmo para el procesamiento de las señales: Calcular amplitud y período - Método 2 . . . . .	218

## INTRODUCCIÓN

Los canales o tanques de prueba hidrodinámico han sido una herramienta muy provechosa tanto en el campo de la hidrodinámica como en el de la ingeniería naval, su importancia radica en el poder optimizar un diseño a partir de los resultados obtenidos en las pruebas con los modelos a escala, complementando y comparando los obtenidos por software en simulaciones y demás herramientas informáticas. Los canales de pruebas hidrodinámicos permiten saber, mediante pruebas realizadas en el mismo, datos tales como: Resistencia al avance, comportamiento en el mar o seakeeping, maniobrabilidad, entre otras características del buque a escala [2].

Actualmente la escuela naval de cadetes Almirante Padilla cuenta con un canal de pruebas de modelos de buques como herramienta para la formación de oficiales, Siendo el canal de pruebas para modelos de buques o embarcaciones una de las experiencias mas fructíferas, por poner prueba todo lo calculado en el diseño, las ventajas y desventajas simulados en ambientes a los que normalmente sería expuesto el buque o embarcación.

Construido en el año de 1994 [1] según las indicaciones y diseños planteados en la tesis "Diseño y construcción de un tanque de pruebas de modelos de

buques para la armada nacional”. Dentro del diseño del canal estuvo su dimensionamiento, el carro remolcador, la celda de carga, el equipo de sujeción, sistema de adquisición de datos y el generador de olas.

## 1.1. Objetivo General

- Diseñar e Implementar un Sistema de Calibración para garantizar las características de las olas generadas en un canal de pruebas de modelos de embarcaciones a escala.

## 1.2. Objetivos Específicos

- Estudiar y Seleccionar los distintos tipos de sensores que permitan la medición del cambio del nivel del agua.
- Diseñar e Implementar el Hardware y Software necesario para el analizar y registrar el comportamiento de las olas generadas en un canal de pruebas.
- Analizar los resultados obtenidos por los ensayos realizados para determinar posibles mejoras que permitan un adecuado estudio de las señales registrada.
- Implementar un sistema de absorción de olas en el canal de pruebas, realizar pruebas y analizar los resultados para verificar su mejora en el comportamiento de las olas generadas.

### **1.3. Descripción del problema**

Cuando se desea hacer un estudio del sistema de oleaje de un canal de prueba se debe tener en cuenta la caracterización del mismo para garantizar la validez de los ensayos, a la hora de hacer el estudio de funcionamiento del canal se obtuvo que este no se encontraba caracterizado, entonces cuando se desee realizar una calibración debíamos primero caracterizar las olas que se estaban generando.

Teniendo en cuenta la información y diseños previamente realizados en la Tesis de grado que respaldó su elaboración, con dicha información implementar un sistema de absorción de olas que permita el estudio de olas regulares.

En los ensayos que se pueden realizar en el canal de pruebas presente en la Escuela Naval actualmente no se puede controlar la altura y frecuencia de la ola generada, dejando como consecuencia que, a la hora de querer hacer una comparación de los datos obtenidos, que son la base para hacer el uso de software de simulación de la misma prueba nos genere un error bastante grande pues no se está caracterizando los elementos de la ola generada en este caso periodo y altura.

### **1.4. Formulación del problema**

¿Es posible diseñar e implementar un calibrador para caracterizar la olas generadas por un canal de pruebas?

## 1.5. Justificación

Para que los resultados obtenidos en el tanque de prueba en los que se utiliza el generador de olas tengan alguna validez o puedan ser comparados con resultados computacionales, se es necesario estudiar a detalle a respuesta del oleaje en el tanque según la potencia que entregue el motor para mover el sistema generador de olas tipo pala pivoteada [1]. Teniendo estos valores, se podría plantear correcciones para que futuras pruebas correspondan a los resultados obtenidos en simulación.

Si bien el sistema cuenta con un amortiguador de olas tipo rampa, no es suficiente para eliminar por completo la refracción de la ola al llegar al fondo del tanque, por lo que se debe ajustar este error. Por el estanque no cumplir con normas internacionales de ITTC [13], las pruebas llevada a cabo no serán válidas, pero esto no evita que sea una experiencia enriquecedora para los estudiantes. Es por eso que, al corregir el error por perturbación, podemos acercar los resultados teóricos y prácticos, tanto como nos lo permita las dimensiones y diseño del tanque en general.

## ESTADO DEL ARTE

A continuación, se hará una breve mención de los primeros estudios que se hicieron acerca de los canales de olaje y como ha sido su evolución, también se hará mención de algunos canales de oleajes en el mundo que cuentan con generadores de olas y algunas compañías encargadas de la fabricación de estos, lo cual es muy útil a la hora de necesitar referencias de ensayos y posibles mejoras de acondicionamiento del canal.

El interés en la mecánica de las Olas data de hace más de un siglo, comenzando con la teoría lineal de las Olas por [5]Airy (1845), continuando con teorías de orden superior por Stokes (1847), teoría de ondas largas por [6]Boussinesq (1872) y limitando la altura de las Olas por Michell (1893) y McCowan (1894), entre otros.

Durante los siguientes cincuenta años no hubo muchos avances, hasta la Segunda Guerra Mundial, por el interés de aterrizajes anfibios, esto llevo a la necesidad de comprender mejor la formación y crecimiento de las Olas debido al viento, la transformación mecánica que ocurre desde la fuente hasta la costa y el proceso de rompimiento de las mismas.

Tras la Segunda Guerra mundial, los estudios referentes al Oleaje, pudieron haber sido abandonados de no ser por el desarrollo en actividades científicas, industriales y militares.

## **Canales de oleaje**

### **Canal de Oleaje CIEM (Canal de Investigación y Experimentación Marítima) en la Universidad Politécnica de Cataluña.**

Este es un canal único en el mundo, permite la reproducción a escalas aproximadas a la real, en él se estudia el comportamiento de un perfil de playa con o sin obras. Puede representar condiciones de Oleaje y nivel medio del mar que se desee. En él se realizan ensayos de diques portuarios, estructuras de defensa costera, entre Otros.

El CIEM se ubica en el Laboratorio de Ingeniería Marítima del departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental (DEHMA) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Su geometría es de largo, por 3 m de ancho y 5 de alto. En su tramo final dispone de una playa con pendiente de 1/15, previo a una playa final de escollera destinada a disipar energía. La rugosidad de las paredes y del fondo del canal está minimizada (exceptuando el tramo de fondo inclinado), para evitar la interacción de oleajes transversales.

Es un canal cubierto, esto permite el mantenimiento del agua en condiciones ideales y constantes. Evita la influencia de agentes no controlables, como puede ser el viento e inclemencias meteorológicas o los cambios bruscos de temperatura, factores que pueden variar los valores de las mediciones a lo largo de un ensayo, o no permitir realizarlo.





**Figura 2-2:** Imagen de la universidad de Ghent [17]

**Canales con generadores de oleaje** Los canales de Oleaje, a diferencia de los canales, son estructuras en las cuales se puede representar Oleaje multidireccional, a través, de múltiples generadores.

Hay diferentes tipos de canales, a continuación, se mostrarán algunos. En la figura **2-3** se presenta un canal de ocho pallets accionados por pistón en la Universidad de Manchester.



**Figura 2-3:** Canal de la Universidad de Manchester. [19]

De manera similar se encuentra hay uno en el Colegio Universitario de Londres con paletas de bisagras tipo flaps.



**Figura 2-4:** Canal en el colegio Universitario de Londres. [19]

A continuación, se hace mención al canal que se encuentra en la Escuela Central de Nantes, el cual, tiene un volumen asombroso ya que es un canal de 50 por 30 m. además de una profundidad de 5 m. Su desarrollo es de los más importantes en el área de la energía de las Olas.



**Figura 2-5:** Canal de la Escuela Central de Nantes. [19]

Por último, mencionaremos el canal que se encuentra ubicado en Edimburgo, tiene la característica de ser curvo, éste diseño fue implementado en el 2003.



**Figura 2-6:** Canal en la Universidad de Edimburgo. [19]

## **Generadores de Olas unidireccionales comerciales**

### **HR Wallingford**

HR Wallingford comenzó en 1947 como la Estación de Investigaciones Hidráulicas del gobierno del Reino Unido, en 1982 se volvió una empresa privada dedicada a resolver problemas de manera apropiada y precisa.

HR Wallingford es una empresa certificada por su alto nivel de calidad en la provisión de análisis, consultoría y apoyo en ingeniería civil e hidráulica ambiental, así como en la gestión del agua y el entorno del agua.

Esta empresa tiene más de 60 años de experiencia diseñando y fabricando desde equipo para generar Olas y simular las condiciones del mar hasta instrumentación y software para recolectar y analizar los resultados.

Al usar modelos físicos para probar el diseño de estructuras costeras o para investigar los procesos de onda, los ingenieros deben ser capaces de trabajar con una amplia gama de condiciones de Oleaje realista. HR Wallingford tiene una amplia experiencia en el diseño y construcción de sistemas de generación de ondas para simular de forma realista las condiciones el mar. Esta compañía ha suministrado generadores de Olas a muchos laboratorios en todo el mundo y han estado en uso en sus propios laboratorios durante muchos años.

Los generadores de Olas para canales abiertos normalmente son accionados por servomotores de corriente alterna. Generadores de Olas muy grandes son accionados hidráulicamente.

Actualmente, en México se cuentan con 2 equipos de esta empresa, uno localizado en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). El Otro en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UN AM).

HR Wallingford tiene un software avanzado capaz de generar distintos tipos de Oleaje, tanto regular como irregular, y capaz de controlar más de una paleta, así como generar Oleaje en 1D y 2D. 2003.



**Figura 2-7:** Canal del laboratorio de Hidráulica en IPN. [18]

## Generador de ondas Servo-controlado para canales de dimensiones reducidas

La simulación de las olas, en los laboratorios de ingeniería naval, por lo general tiene grandes instalaciones, costoso despliegue y mantenimiento, y complejo de manejar. La hipótesis de las instalaciones más pequeñas, más baratas y sencillos, plantea preguntas acerca de la validez de la simulación y la calidad del espectro de ondas. Cualquiera que sea la instalación, la onda generada debe cumplir varios requisitos de precisión y reproducibilidad, de modo que el espectro de ondas en el canal sea lo más fiel posible a los parámetros especificados. En el caso de las ondas generadas en un canal por un actuador, estos son producidos por el movimiento de un cuerpo en el agua. Considerando una anchura de placa de la cisterna y la altura mayor que el nivel máximo de agua que se mueve en armonía, la condición de contorno específico es:(véase ecuación 2-1 y ecuación 2-2).

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \omega s(y) \cos \omega t \quad (2-1)$$

con  $s(y)$  la amplitud del desplazamiento  $x = 0$ . Según Chakrabarti [7] una solución para el potencial de velocidades ( $\phi$ ) bajo la condición mencionada, se escribe como:

$$\phi = -\frac{\omega}{k} A \cosh(ky) \sin(\omega t - kx) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\omega}{k_n} A_n \cos(k_n y) \exp[-k_n x] \cos(\omega t) \quad (2-2)$$

donde

**A:** constante.

***n***: entero positivo.

***ω***: velocidad angular.

***t***: tiempo.

***x***: desplazamiento.

***y***: amplitud de desplazamiento.

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

***L***: Longitud de la ola.

Con el movimiento y el tipo de placa basculante (Aleta), el desplazamiento puede ser descrito en términos de su curso en el nivel de agua estática, *S*, resultando en:

$$\frac{S}{H} = \frac{kd[\sinh(2kd) + 2kd]}{4\sinh kd[kd\sinh(kd) - \cosh(kd + 1)]} \quad (2-3)$$

donde

***d***: profundidad.

***H***: altura de la ola generada en el canal.

***S***: Amplitud del desplazamiento.

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

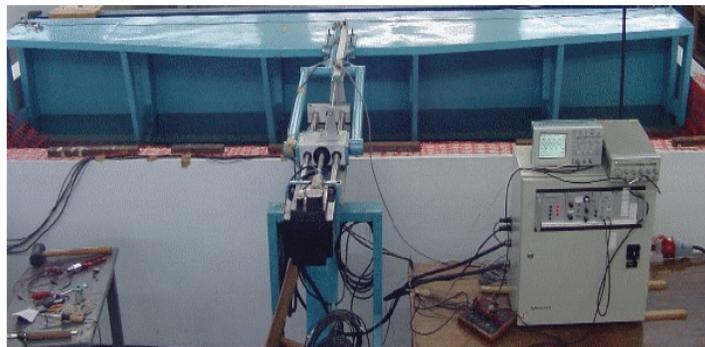
***L***: Longitud de la ola.

La ecuación 2-3 linealizada de generador de ondas de tipo basculante placa, es decir, la función que relaciona el curso de la placa y la altura de la ola con la frecuencia y la profundidad.

## Canal de pruebas de EPUSP

El generador de aquí descrito es electro-mecánico, con la impulsión de un motor servo AC controlada en husillo de bucle cerrado con recirculación de bola y tipo de actuador camión placa, conocida como "aleta". El aparato descrito en detalle por Souza [8] está instalado y operando en un canal, Laboratorio de Ingeniería Naval y Oceánica de la DENO-EPUSP se ilustra en la Figura 2-8.

El canal mide aproximadamente 22 m por 5 m por 1,8 m, los valores totales de la longitud, la anchura y la profundidad, respectivamente, que se muestra en la Figura 2-9. En el extremo opuesto al generador hay un amortiguador de tipo de rampa con una doble vertiente, rasgado, de alto en relación con el fondo del canal. En el espacio entre la rampa elevada y



**Figura 2-8:** Vista general del generador de ondas.

el fondo del canal se instalan pantallas de plástico verticales, se estiró en la dirección transversal del canal, ortogonal a la propagación de ondas, de distancia 0,35 m cada uno. Una descripción y el análisis de este servicio sea relatad por Martins [9].

La determinación de los parámetros de rendimiento del generador se hizo por la instalación de sensores en el sistema, tanto en el control y unidad que el actuador. La ubicación de los sensores se puede ver en la Figura **2-10**. Para cada configuración del sistema se repite el mismo procedimiento de prueba y medidas. Las mediciones se realizaron con un sistema de adquisición de datos de 16 canales, conectado a un PC tipo de ordenador y el programa de adquisición de datos Lynx. El sistema, la figura **2-11**, permite la calibración de los transductores, la visualización de datos, durante y después de la adquisición y el almacenamiento de las magnitudes de medida en función del tiempo.

Los sensores instalados miden la fuerza, par de torsión, movimientos (aceleraciones y desplazamientos) del sistema de accionamiento y el actuador, la señal de control electrónico y las elevaciones de las olas 5,88 m de accionamiento en el centro del canal.

Los empleados son señales de control sinusoidal con una amplitud constante, simple y manera de barrido. La exploración produce sine sucesiva entre dos valores preseleccionados, con un rango y velocidad elegida por el operador. El resultado del espectro generado es similar a una banda de ruido blanco. Los valores de las variables físicas de emoción y respuestas se almacenan en el ordenador y posteriormente analizados con el programa SisDin Lynx. Los resultados fueron los espectros y de transferencia de funciones de señales elegidas para las diversas condiciones de ensayo se muestran a continuación.

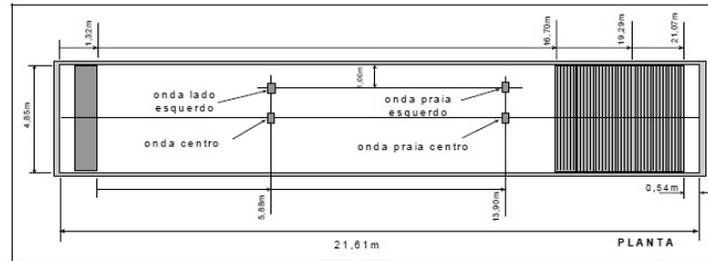


Figura 2-9: Pruebas de canal y medidores de ondas instaladas

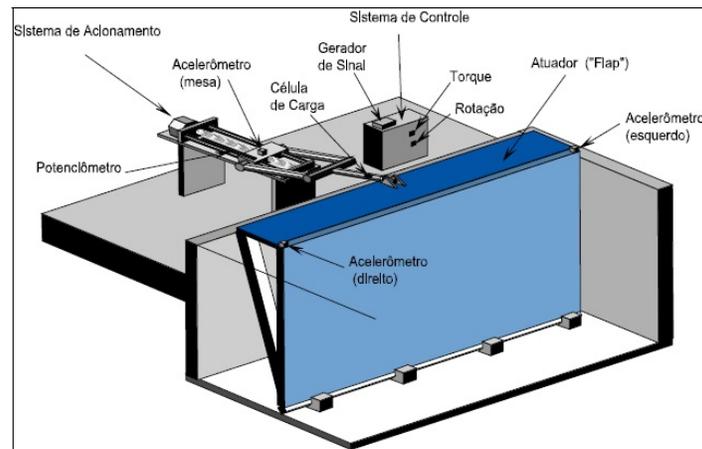


Figura 2-10: Instrumentación esquema utilizado en el generador de ondas.



Figura 2-11: Banco de la opinión instrumentación y guías de ondas

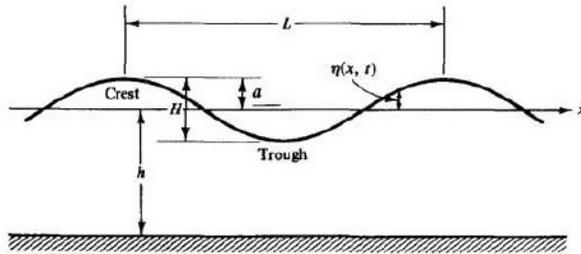
## MARCO TEÓRICO

A continuación, se trata de todos los conceptos básicos que se tuvieron en cuenta a la hora de realizar la selección de los elementos electrónicos para el diseño y desarrollo de los prototipos y de la teoría de las olas y acerca del comportamiento y acondicionamiento de las señales que se podrían obtener en los resultados de los ensayos.

### 3.1. Conceptos básicos de teoría de olas

**Características de las olas** La parte más alta de una Ola [11] es su cresta, y la parte más profunda de la depresión entre dos Olas consecutivas se llama valle.

Los parámetros más importantes para describir las Olas son su longitud, altura, y la profundidad del agua sobre la que se propagan. La figura 8 muestra un esquema bidimensional de una Ola que se propaga en la dirección X.



**Figura 3-1:** Características de las olas.

La longitud de la Ola,  $L$ , es la distancia horizontal entre dos crestas sucesivas, el periodo  $T$  es el tiempo necesario para que dos crestas sucesivas pasen por un punto en particular.

Como la Ola, debe moverse una distancia  $L$  en el tiempo  $T$ , la velocidad de la Ola es celeridad y se define como:

$$C = \frac{L}{T} \tag{3-1}$$

La diferencia de altura entre una cresta y un valle se le llama altura de la Ola 'a'. La amplitud es la distancia entre una cresta y un valle,  $H$ , por último la altura  $h$  es la distancia entre el nivel del agua y el fondo del lugar en el que se propaga la Ola (Dean,R.G1 991).

**Teorías del Oleaje** Las teorías que describen el Oleaje son aproximaciones a la realidad. Pueden describir bien aquellos fenómenos cuyas condiciones satisfagan las asunciones hechas en su derivación.

**Teoría lineal de ondas** También denominada teoría de Airy, puede ser una útil aproximación si las hipótesis de partida se cumplen (Airy, G.B, 1845). [6]

- El agua es homogénea e incompresible; (LO que implica que la densidad es constante)
- tensión superficial puede ser despreciada.
- efecto de Coriolis debido a la rotación de la tierra puede ser asimismo despreciado.
- presión en la superficie libre del mar es uniforme y constante.
- agua del mar carece de viscosidad.
- existe interacción del Oleaje con ningún Otro movimiento marino. El flujo es irrotacional.
- fondo del mar constituye un límite horizontal, fijo e impermeable, IO que implica que la velocidad vertical en él es nula.
- amplitud de la Ola es pequeña y su forma es invariable con el tiempo.
- Las ondas son planas (de dos dimensiones).

**Dispersión del Oleaje** La ecuación de dispersión relaciona la celeridad con la profundidad y la longitud de onda, se escribe como:

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad (3-2)$$

donde

**g:** gravedad(9,8 m/s)

**L:** distancia que se mueve la ola.

**h:** distancia entre el nivel del agua y el fondo del lugar en el que se propaga la ola.

Combinando las dos ecuaciones anteriores, se puede escribir la celeridad como:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (3-3)$$

donde

**g:** gravedad(9,8 m/s)

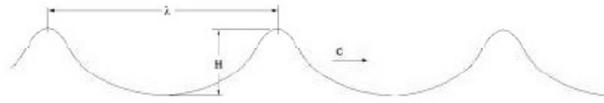
**L:** distancia que se mueve la ola.

**h:** distancia entre el nivel del agua y el fondo del lugar en el que se propaga la ola.

**T:** tiempo de propagación de la ola.

Con esta ecuación se puede comprobar que una Ola viaja más rápido cuando mayor es su periodo. El concepto de dispersión implica que las Olas se separan en su propagación hacia la costa, ordenándose por sus periodos.

**Teorema de Stokes** El teorema de Stokes se fundamenta en el desarrollo de las Olas no lineales o también conocida como teoría de la onda solitaria (Stokes, 1961) [14].



**Figura 3-2:** Perfil de ola propuesta por Stokes .

La teoría de Stokes sirve para la descripción de Olas poco profundas además de que propone una ecuación, la cual, su desplazamiento vertical tiene la forma:

$$y = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - 2\pi \frac{t}{T}\right) + \frac{3\lambda^2 H^2}{64\pi^2 h^3} \cos\left[2\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T}\right)\right] \quad (3-4)$$

donde

***x***: eje horizontal del movimiento de la ola.

***t***: eje Vertical del movimiento de la ola.

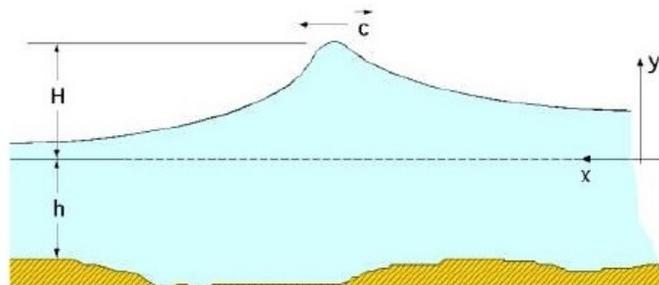
***T***: tiempo de propagación de la ola.

***H***: La amplitud es la distancia entre una cresta y un valle.

***h***: distancia entre el nivel del agua y el fondo del lugar en el que se propaga la ola.

***λ***: es la longitud de la ola.

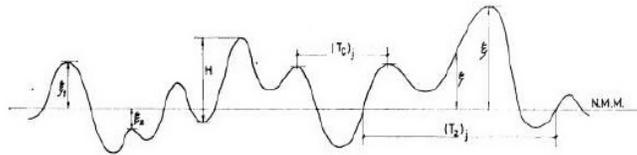
La característica principal de la teoría de la onda solitaria es que su superficie, está siempre por encima del nivel normal del mar.



**Figura 3-3:** Onda solitaria.

Y comparado una con Otra se puede llegar a la conclusión de que se ve sumamente afectado el periodo de las Olas en base a la altura de las mismas.

En la siguiente figura se muestra un espectro que sirve para definir oscilaciones de corto periodo (entre uno y treinta segundos) sobre la superficie libre del mar.



**Figura 3-4:** Espectro de ola por poco tiempo.

### Espectros del oleaje [15]

El concepto de espectro puede ser atribuido a Newton, quien describió que la luz del sol puede descomponerse en un espectro de colores (rojo al violeta) con la ayuda de un prisma. El espectro indica cómo la intensidad de la luz varía con respecto a la longitud de la onda. La técnica de descomposición de fenómenos complejos en componentes individuales se ha aplicado en muchos problemas físicos.

Las Olas del mar, que a primera vista parecen un fenómeno muy aleatorio, pero puede ser analizado como un compuesto de un número infinito de ondas con diferentes frecuencias y direcciones. La distribución de la energía de éstas cuando se representa a la frecuencia contra su dirección se llama espectro del Oleaje (Goda, Y. 1973).

La distribución de la energía de la onda con respecto a la frecuencia, independientemente de la dirección de las Olas, se llama espectro de frecuencia, mientras que la distribución de energía, expresada en función y la dirección se llama el espectro de ondas direccionales.

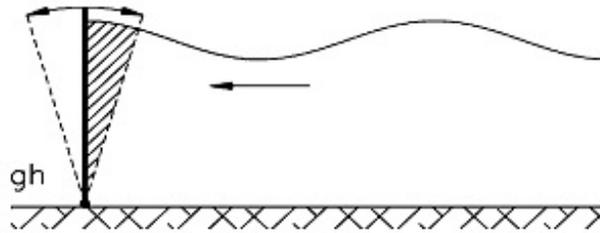
## Absorción de los generadores de olas

Todos los canales donde se generan las olas tienen frecuencia de resonancia y seguida miente esta con la frecuencia de trabajo. Una buena playa absorberá mucha energía, pero hay un pequeño efecto en las olas de cruz o algún reflejo de este modelo. Esto puede ser una mayor limitante en los canales de arrastre donde la productividad de toda la instalación es determinada por el tiempo de establecimiento después de que se ha completado la ejecución. Estos generadores pueden aumentar la producción drásticamente ya que disminuyen el tiempo entre carreras sin hacer olas con espurias.

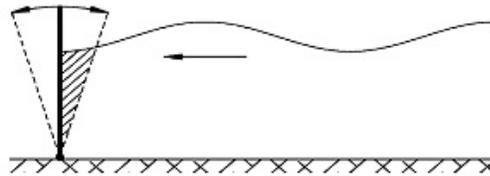
Los generadores de olas tradicionales trabajan con un control de retroalimentación. Este tiene la desventaja de que el volumen desplazado por el pallet es dependiente del nivel del agua enfrente del mismo. Entonces, como consecuencia, la altura de la ola depende de muchos factores, incluyendo el tamaño de la ola o una playa de bajísima calidad.

Durante los primeros ensayos con el Duck, el convertidor de olas del profesor Stephen Salter [21], encontró que la altura de las olas puede variar en un 30 % lo que hacía muy difícil una medida de absorción para el dispositivo. Los primeros experimentos no fueron válidos, debido al reflejo que producían las olas, como consecuencia se producían olas inestables. Se superó este problema por la retroalimentación en el generador Ahora el control de absorción es calculado por un control digital para que la absorción sea totalmente predecible y pueda optimizar las condiciones específicas.

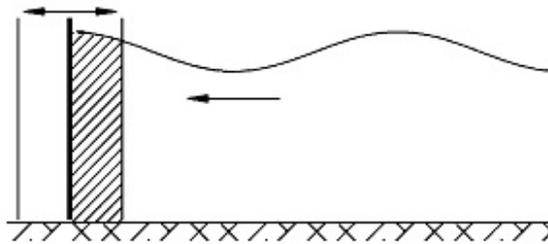
Otros investigadores han implementado una absorción de olas usando distintas técnicas como la medición de la ola montando un sensor en el frente del pallet. Esta señal llega al controlador del pallet y el movimiento es modificado para absorber la humedad y las ondas no deseadas.



**Figura 3-5:** Pallet de bisagra con control de posición simple.

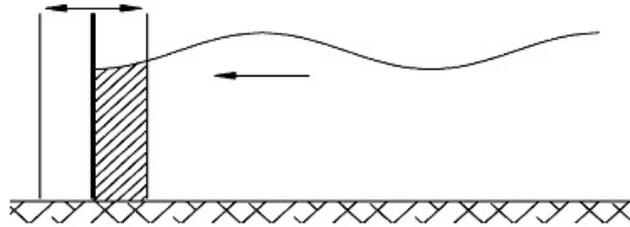


**Figura 3-6:** Pallet de bisagra donde el volumen es mucho menor.



**Figura 3-7:** Pallet de pistón con control de simple posición.

**Playa** Las olas, después de que pasan el canal, tienden a ser absorbidas. Hay una amplia variedad de diseños de playas y la mejor lista es dada por Ouslett(1986). [22] Fueron realizados algunos estudios para evaluar el rendimiento de alrededor de 48 playas. Un factor de un mecanismo innovador de porosidad, generalmente se canaliza el flujo del agua de las olas para que sea transferido a la playa y no haya un regreso en la misma. Del mismo modo la rugosidad de la superficie se utiliza a menudo para disminuir el regreso de la



**Figura 3-8:** Menor volumen de regreso de ola

ola. Conclusiones significantes son:

- Se espera un reflejo de hasta el 10 %, incluso para playas de excelente diseño y el porcentaje de reflejo tiende a incrementarse con la altura de las.
- Aparece ser muy difícil alcanzar niveles de reflejo menores al 10 % para amortiguadores menores del 0.5 al 0.75 de la altura de la ola.
- La porosidad del 70 % es una de las causas que hace que el coeficiente de reflejo disminuya en un 2 %.
- La mayoría de las playas tienen una inclinación entre 1:6 y 1:10 con respecto al espejo libre de agua.

La absorción, especialmente en los canales amplios, es difícil de definir. Es dependiente de la amplitud, ángulo y frecuencia. Muchos de los mecanismos que son utilizados, disipan la energía en base al número de Reynolds, ya que éste es alterado en playas que, aunque son similares en diseño se ven afectadas por la escala. Otra dificultad con las playas es que al ser implementadas en los canales son menos efectivas de lo que realmente son. Una ola reflejada tiene una absorción del 90 % en la playa, de la energía será un 31 % de la altura original de la ola.

Las playas con pendiente no trabajan muy bien en canales muy profundos. Una alternativa es usar mallas. Varias capas de plástico disipan las olas que fluyen que crean millones de remolinos y al evitar esto sería como si se tuviera olas con una longitud indeterminada. La velocidad del flujo varía en función de las distintas olas y debe aumentar progresivamente con la profundidad y distancia de las olas. De ello habla plenamente Taylor [20] et al (2003).

## 3.2. Conceptos y electrónica utilizada

### **Resistencia:**

Componente que restringe el flujo de corriente [31], transformando la electricidad en calor, con el fin de evitar un corto circuito.

### **Capacitor:**

Componente cuya función es crear una diferencia entre las cargas que contiene en su interior. Esto hace pensar en ese desequilibrio de cargas, como un almacenamiento de estas, por lo que comúnmente se dice que la función del capacitor [31] es almacenar cierta cantidad de carga eléctrica. Esta propiedad del capacitor se denomina capacitancia, se mide en faradios y la utilidad que tiene en un circuito electrónico es la de regularizar el flujo de cargas. Existen diferentes tipos de capacitores: Los hay de tantalio y electrolíticos, capacitores polarizados que manejan cargas arriba de 1uf; cerámicos, capacitores no polarizados, que se utilizan para cantidades abajo de 1uf; capacitores de poli estireno, cuya graduación indica valores por debajo de un nf; capacitores variables, con niveles de capacitancia que van de 100 a 500 pf; interruptores, capacitores con una capacidad menor a 100 pf.

**Diodo:**

Componente que solo permite el flujo de carga en una sola dirección, esto es, que son componentes polarizados. Son la versión eléctrica del grifo de agua. La mayoría de los diodos dejan pasar una cantidad baja de voltios. A este voltaje se le denomina caída de voltaje, y es casi constante aun cuando la corriente fluctúe. Y cuando se le aplica un voltaje en sentido contrario, el componente no conduce. Al menos en un diodo [31] ideal. El hecho es que un diodo real deja pasar una corriente mínima. Pero esta se puede pasar por alto. Hay diversos tipos de diodos y se pueden clasificar en dos clases: Diodos de señal, que dejan pasar corrientes de 100 mA o menores, y Diodos de rectificación, que deja pasar corrientes mayores. Además, existen los diodos emisores de luz (LEDs) y los diodos Zener, hechos de silicio y utilizados regularmente en reguladores de voltaje.

**LED (Light-Emitting diode):**

Como diodos que son, los LEDs [31] solo permiten el flujo de carga en una dirección y en este proceso emite luz.

**Circuito Integrado (CI):**

Circuitos electrónicos compuestos por transistores, resistencias, diodos y capacitores miniaturizados conectados entre sí por pequeñas pistas de aluminio, y encapsulados en conjunto en pequeñas cajas de silicón. La comunicación de estos circuitos con el interior se da a través de “patitas”, que son las terminales del circuito. La disposición y cantidad de componentes en un CI [31] depende de las funciones que puede desempeñar, que a su vez son

muy diversas. Por esto, sus especificaciones son muy precisas y es importante consultar la hoja de datos o datasheet.

Existen diferentes tipos de CI's, y se pueden clasificar por su funcionamiento y por su encapsulado. Por la forma en la que se comunican y funcionan:

- Análogo: Produce, amplifica y/o responde a la variación de voltajes.
- Digital o lógicos: Responde y/o produce a solo dos variaciones de voltaje.
- Existen también CI's que combinan funciones digitales y análogas.

Por el tipo de encapsulado:

- Plásticos.
- Cerámicos.
- Metálicos.

**Microcontrolador** Pequeño circuito con una pequeña computadora integrada, sin una interfaz física con la cual el humano pueda interactuar directamente, por lo tanto, la comunicación con dicho circuito y computadora se realiza mediante pins, entradas que pueden recibir y enviar pulsos eléctricos.

Los microcontroladores [31] cumplen 3 tareas:

- Convertir energía física en energía eléctrica, conectando sensores, que son los que captan la información física, a los pines de entrada (input).
- Convertir energía eléctrica en energía física, esto conectando motores, bocinas, lámparas, etc. a los pines de salida (output).
- Enviar y recibir información a otras computadoras y dispositivos electrónicos.

Las variantes más importantes entre ellos son de tamaño, cantidad de inputs y outputs, accesibilidad de la interface y programación, precio, etc. La elección del microcontrolador será así, una decisión muy particular que dependerá de la necesidad del proyecto y los recursos disponibles para la realización de este. Mientras que los de más alto nivel serán más fáciles de conectar y programar, los de bajo nivel serán generalmente más flexibles en cuanto a su función y más baratos en comparación con los primeros.

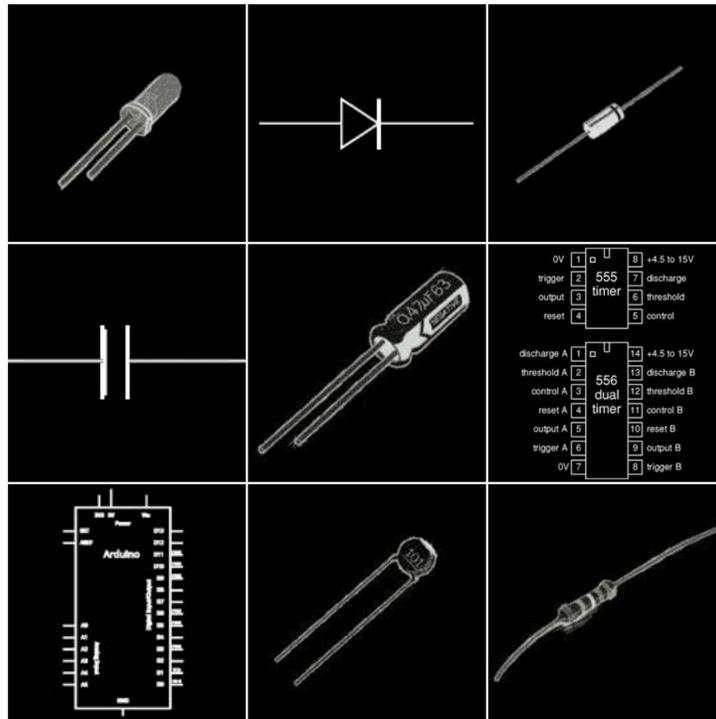


Figura 3-9: Componentes Electrónicos Básicos. [31]

## Señales análogas y digitales

**Señales Analógicas** Son variables eléctricas que evolucionan en el tiempo en forma análoga a alguna variable física. Estas variables pueden presentarse en la forma de una corriente, una tensión o una carga eléctrica. Varían en forma continua entre un límite inferior y un límite superior. Cuando estos límites coinciden con los límites que admite un determinado dispositivo, se dice que la señal está normalizada. La ventaja de trabajar con señales normalizadas es que se aprovecha mejor la relación señal/ruido del dispositivo [32].

**Señales Digitales** Son variables eléctricas con dos niveles bien diferenciados que se alternan en el tiempo transmitiendo información según un código

previamente acordado. Cada nivel eléctrico representa uno de dos símbolos: 0 ó 1, V o F, etc. Los niveles específicos dependen del tipo de dispositivos utilizado. Por ejemplo, si se emplean componentes de la familia lógica TTL (transistor-transistor-logic) [32] los niveles son 0 V y 5 V, aunque cualquier valor por debajo de 0,8 V es correctamente interpretado como un 0 y cualquier valor por encima de 2 V es interpretado como un 1 (los niveles de salida están por debajo de 0,4 V y por encima de 2,4 V respectivamente). En el caso de la familia CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor), los valores dependen de la alimentación. Para alimentación de +5 V, los valores ideales son también 0 V y 5 V, pero se reconoce un 0 hasta 2,25 V y un 1 a partir de 2,75 V.

Estos ejemplos muestran uno de los principales atractivos de las señales digitales: su gran inmunidad al ruido. Las señales digitales descritas tienen la particularidad de tener sólo dos estados y por lo tanto permiten representar, transmitir o almacenar información binaria. Para transmitir más información se requiere mayor cantidad de estados, que pueden lograrse combinando varias señales en paralelo (simultáneas), cada una de las cuales transmite una información binaria. Si hay  $n$  señales binarias, el resultado es que pueden representarse  $2^n$  estados. El conjunto de  $n$  señales constituye una palabra. Otra variante es enviar por una línea única, en forma secuencial, la información. Si se sabe cuándo comienza, y qué longitud tiene una palabra (conjunto ordenado de estados binarios que constituye un estado  $2^n$ -ario), se puede conocer su estado.

## **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CALIBRACIÓN Y EL ABSORBEDOR DE OLAS**

A continuación, se hace una descripción del canal de pruebas para modelos de buques de la escuela naval, los procedimientos para llevar a cabo el desarrollo de los prototipos para la medición del cambio de nivel, la estructuración del software desarrollado para la toma y registro de los datos, la implementación del absorbedor de olas, los pasos para el procesamiento de las señales registradas y como manejar el sistema en general.

### **4.1. Descripción y estado del Canal de pruebas**

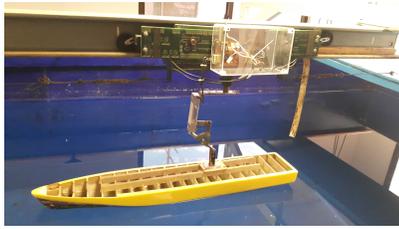
El canal de pruebas hidrodinámicas de la Escuela Naval Almirante Padilla (ENAP) [1] fue construido en las instalaciones del aula de motores, abriendo

paso al laboratorio de arquitectura naval que habrá de acoger a corto plazo otros equipos y material didáctico de esta disciplina. Las características principales del canal de pruebas son las siguientes:

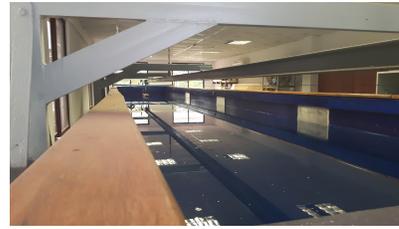
- Longitud : 14,56 m
- Ancho : 2,02 m
- Altura : 1,40 m
- Nivel del agua : 1,20 m
- Ventanillas Laterales : 3 de 0,6 x 0,3 m
- Sistema de Circulación , filtrado y aspirado de fondo con capacidad de absorción de impurezas a una tasa de 500 litros por hora.

Basados en los resultados obtenidos en las experiencias de la construcción del canal de Valdivia (Chile), sobre la comparación con canales construidos (como es usual en concreto armado) bajo nivel de terreno y la instalación propiamente dicha, construida en acero soldado con todo su volumen expuesto sobre nivel de terreno, se determinó construir el canal de pruebas de la ENAP completamente en acero soldado, sobre nivel de terreno y soportado libremente por apoyos. Las ventajas que se obtienen por ser un canal de porte pequeño son entre otras. menor peso sobre el terreno, bastante mayor homogeneidad de temperaturas durante el ensayo y en aplicaciones docentes mejores posibilidades de observación de los fenómenos a través de las ventanillas ubicadas convenientemente para tal efecto. En la construcción se utilizó lamina de acero estructural 1020 de 0,0045 m de espesor (27 láminas de 1,2 x 2,4 m) ,Perfil "L" de 0,05 x 0,05 x 0,0047 m del mismo material (24 ángulos de 6 m ) y soldadura 6010 de 0,013 m de diámetro (85 kg).

A Continuación se mostraran algunas imágenes del Estado Actual del canal de Pruebas y su sistema de Adquisición de datos:

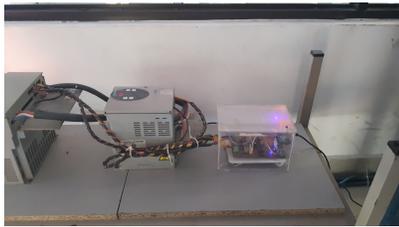


(a)

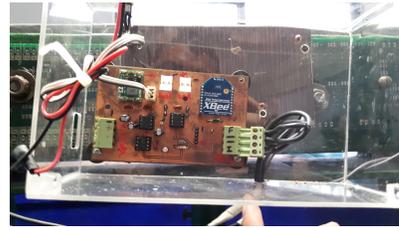


(b)

**Figura 4-1:** (a) Carro remolcador, modelo de buque para pruebas y sistema de adquisición de datos. (b) Canal para pruebas de modelos de buque de la escuela naval de cadetes .<sup>A</sup>lmirante padilla”.



(a)



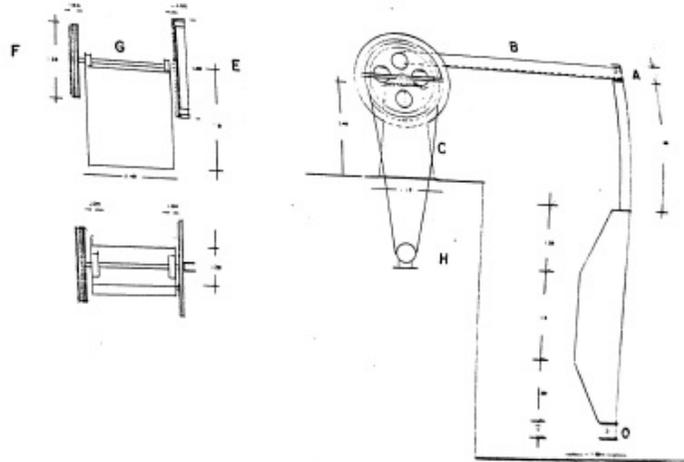
(b)

**Figura 4-2:** (a) Sistema receptor de señal y de control de velocidad del generador de olas y del carro remolcador. (b) Sistema de control para desplazamiento de carro y generador de olas.

## Generador de olas

Teniendo en cuenta las limitaciones económicas, de espacio e instalaciones del sistema de remolque, el generador del tipo pala pivoteada en el fondo resultó ser el más conveniente por su diseño económico y su no interferencia con el mecanismo de remolque. Tomando como Referencia el generador de olas del canal de pruebas de Ishikawajima Heavy Industries (Yokohama) se efectuó el diseño y cálculo de los componentes, con algunas modificaciones en el sistema motriz. El generador de olas del Canal de Pruebas de la ENAP [1] está conformado por la pala A0 que pivotea en el eje 0 y que ocupa la sección transversal del canal, a la que se da un movimiento de vaivén mediante la

biela B conectada por un extremo de la pieza A0 y por el otro a una rueda E montada en un eje G, que recibe movimiento de un volante F. El volante F es accionado por dos elementos flexibles de transmisión de potencia C desde la polea conductora D acoplada al motor eléctrico M (Figura 4-3)

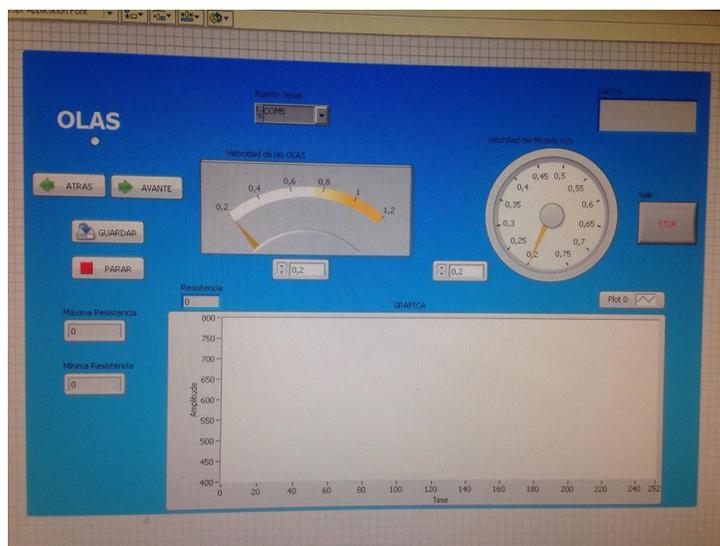


**Figura 4-3:** Generador de Olas presente en el canal de pruebas de la Escuela Naval Almirante Padilla [1]

La biela B puede articularse en distintos puntos de la rueda E, para, de este modo, ya que el periodo se altera variando la velocidad de giro del motor M.

### Interfaz gráfica Generación de olas

Para la generación de las olas se usa un programa desarrollado en el software de entorno de desarrollo Labview y este nos permite tanto el control del generador de olas cambiando la relación de las poleas del mecanismo como el movimiento del modelo a través del riel, en la figura 4-4 se muestra como es la interfaz.



**Figura 4-4:** Interfaz gráfica que se usa para realizar las pruebas en el canal de Pruebas de la Escuela Naval.

## Procedimiento para el uso del Generador de olas

Para el uso del generador de olas del canal de prueba que se encuentra en la Escuela Naval Almirante Padilla se debe tener en cuenta:

- habilitar todas las cuñas eléctricas que encienden el Driver del motor del mecanismo de generación.
- Conectar la alimentación del circuito que hace la comunicación del PC con los Driver de los motores. (véase Figura 4-2a)
- Conectar el cable USB y verificar el puerto COM que habilita la comunicación serial.
- Abrir el programa desarrollado por la herramienta computacional Labview(véase Figura 4-4). Ejecutar el programa y establecer a que porcentaje de la velocidad total del motor arrancará (0.2,0.4,0.6...etc).
- Seleccionar la opción de Olas y se podrá ver como el mecanismo de generación de olas empieza a trabajar.

## Motor Eléctrico

El motor eléctrico requerido para accionar el generador de olas debe entregar una potencia mínima de 1 hp. El motor instalado marca General Electric tiene las siguientes características: (Véase Figura 4-5)

- Potencia : 5 hp,
- Voltaje : 44 V DC,
- Corriente : 105 A,
- Velocidad 1800 Rpm,
- Rata de Funcionamiento: Intermitente (15 minutos a Máximas RPM)



**Figura 4-5:** Motor Eléctrico que acciona el generador de olas

Todos los Cálculos para la creación del generador de olas están Registrados en la Tesis de Grado de 1994 [1] Presente en la Escuela Naval

## 4.2. Desarrollo del prototipo

El calibrador de olas que se desea desarrollar para ser implementado en el canal de pruebas de la escuela naval "Almirante Padilla" debe ser capaz de medir el cambio de la columna de agua en punto donde sea instalado, poseer una sensibilidad tal que permita hacer un registro continuo y lo más preciso posible para que al momento de ser graficados no exista un error de muestreo o que simplemente no se obtenga una onda senoidal, como es esperado.

El prototipo seleccionado deberá seguir los procesos que se encuentran plasmados en la imagen 4-6. Tal como se puede observar, la idea en general

es que se elabore un dispositivo capaz de leer la variable de interés, el cambio de la altura de la columna de agua; que sea pueda interpretar los valores obtenidos y que finalmente llegue esta información al computador.

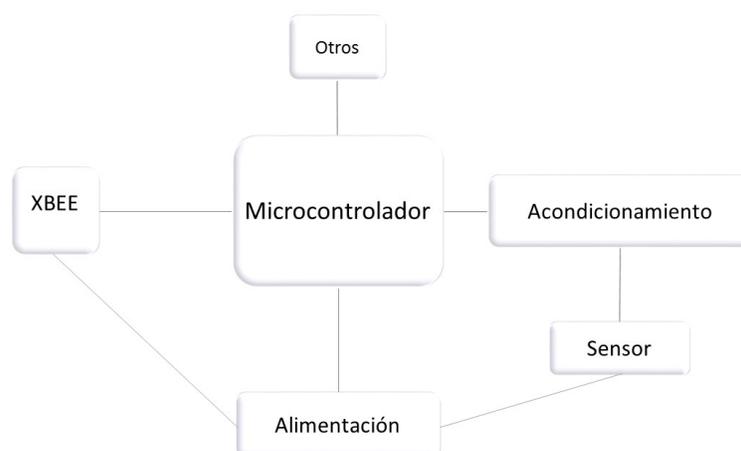
Se desarrollará un software que nos permita graficar, en *real-time* tanto como sea posible, los datos que provienen desde el prototipo. Cuando una ola se genera queda marcado en su recorrido ciertas características como lo son la amplitud y el período y frecuencia [11]. Dichas características deben verse reflejadas en la gráfica del software a desarrollar.



**Figura 4-6:** Procesos a llevar a cabo por el prototipo y software a diseñar

El prototipo a desarrollar solo deja abierta la decisión de que sensor utilizar para obtener la permuta del nivel del agua en cualquier lugar del canal donde sea realizado la prueba. Si se observa la imagen 4-7 se puede ver los componentes básicos que debe poseer el ejemplar a desarrollar. Con anterioridad se definieron cuáles eran los componentes exentos a cambio a utilizar y cuáles no. Estos fueron: El microcontrolador y el módulo de comunicación por radio frecuencia *XBEE*. De esta forma quedaría solo determinar que sensores cumplen con los requerimientos exigidos para la toma de datos a realizar. Se sabe que en la actualidad existen una cantidad inmensa de sensores que

podrían realizar esta tarea sin dificultad, cada uno con ciertas especificaciones técnicas que, en la mayoría de los casos, se hace necesario acondicionar la señal antes de que esta sea leída o analizada por un dispositivo de adquisición, en este caso el microcontrolador, por lo que cada sensor supone cambios, no sólo por el sensor en sí sino por las componentes electrónicas que requiere para su perfecto funcionamiento.

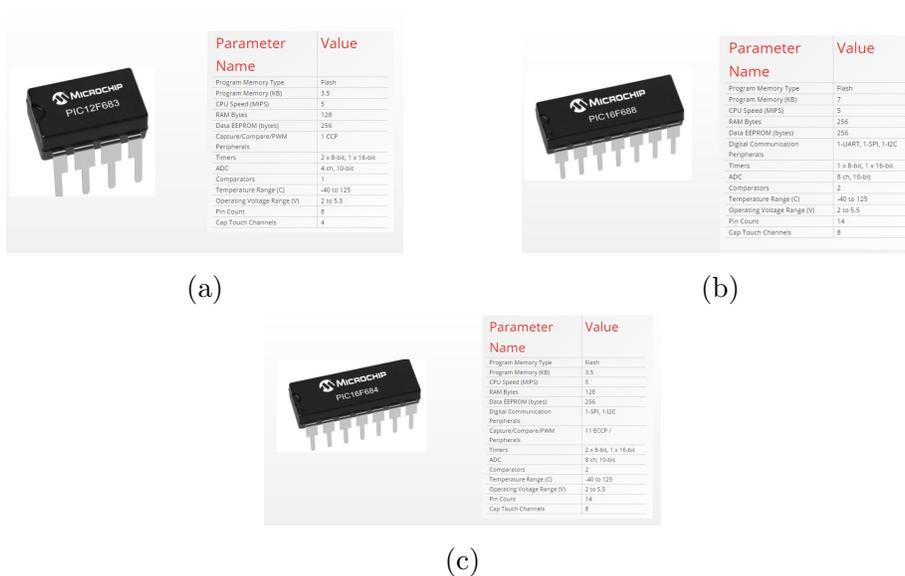


**Figura 4-7:** Prototipo

El *PIC16F688* (Observar imagen 4-8b), Éste pequeño dispositivo es el centro de control de nuestro sistema modelo a elaborar, será el encargado de hacer la lectura de los valores entregados por los sensores, sean estos digitales o analógicos. Además de comunicarnos vía UART con los módulos de radiofrecuencia para comunicación inalámbrica *XBEE serie 1*, la información que llegue a este módulo será enviada a su receptor homónimo que se encontrará conectado vía USB a un puerto del computador en el que esté corriendo el programa desarrollado en *Labview*, graficar y almacenar los datos.

### 4.2.1. Valoración del Microcontrolador

A pesar de que cuentan con características similares estos de 3 microcontroladores (véase Figura 4-8) Se optó por el 16F688 debido a que este posee una característica especial y es que cuenta con un oscilador bastante preciso con un factor de calibración de 1%, esto nos garantizaba que la tasa de transmisión de los datos va a hacer casi real y no haya tanta pérdida de los datos, por otro lado este fue un PIC que ya se tenía a la mano debido a que se usó en trabajos anteriores por ende se tenía noción y su precio es bastante asequible.



**Figura 4-8:** (a) Características del PIC12F683 [23].(b) Características del PIC16F688 [23].(c) Características del PIC16F684 [23].

## 4.2.2. Valoración de sensores

En esta sección se presentará los posibles sensores que pueden cumplir con los requerimientos para la medición de nivel de agua.

### Sensor Ultrasonico HC-SR04

El HC-SR04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, el HC-SR04 [24] se destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio por lo que está reemplazando a los sensores polaroid en los robots más recientes.

#### Características del Sensor HC-SR04

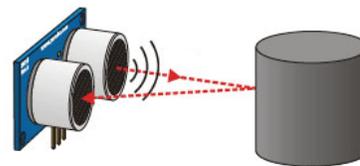
- Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm
- Tensión de alimentación: 5 Vcc Frecuencia de trabajo: 40 KHz Rango máximo: 4.5 m
- Rango mínimo: 1.7 cm
- Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10 uS.
- Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000 uS.
- Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20 mS.

**Pines de conexión:**

- VCC
- Trig (Disparo del ultrasonido)
- Echo (Recepción del ultrasonido)
- GND



(a)



$$\text{Tiempo} = 2 * (\text{Distancia} / \text{Velocidad})$$
$$\text{Distancia} = \text{Tiempo} \cdot \text{Velocidad} / 2$$

(b)

**Figura 4-9:** (a) Sensor ultrasónico HC-SR04 [50].(b) Funcionamiento del sensor ultrasónico HC-SR04 [46].

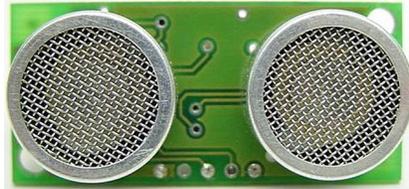
## Sensor Ultrasonico SRF04

SRF04 [25] es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 3 a 300 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, SRF04 destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio por lo que esta reemplazando a los sensores polaroid en los robots mas recientes.

### Funcionamiento del sensor SRF04:

El sensor SRF04 funciona emitiendo impulsos de ultrasonidos inaudibles para el oído humano. Los impulsos emitidos viajan a la velocidad del sonido hasta alcanzar un objeto, entonces el sonido es reflejado y captado de nuevo por el receptor de ultrasonidos. Lo que hace el controlador incorporado es emitir una ráfaga de impulsos ya continuación empieza a contar el tiempo que tarda en llegar el eco. Este tiempo se traduce en un pulso de eco de anchura proporcional a la distancia a la que se encuentra el objeto.

Desde un punto de vista práctico, lo que hay que hacer es mandar un señal de arranque en el pin 3 del SRF04 y después leer la anchura del impulso que nos proporciona en el pin 2. El pulso de disparo tiene que tener una anchura mínima de 10  $\mu$ S. Después leemos el pulso de salida de Eco y medimos su longitud que es proporcional al eco recibido. En caso de que no se produzca ningún eco, por que no se encuentra un objeto, el pulso de eco tiene una longitud aproximada de 36 ms. Hay que dejar un retardo de 10 ms desde que se hace una lectura hasta que se realiza la siguiente, con el fin de que el circuito se estabilice.



**Figura 4-10:** Sensor Ultrasónico SRF04 [25]

### **Sensor de presión MPX2010DP**

La serie de transductores piezoresistivos MPX2010 [26] son sensores integrados de silicio de alta precisión que miden presión de aire. Provee una salida de voltaje análogo lineal que varía proporcionalmente con la presión aplicada.

**Fabricante:** Freescale

Características del sensor de presión MPX2010DP:

- Rango 0 a 10 kPa (0 a 1.45 psi)
- Span total de la salida: 25 mV
- Offset: -1 mV a 1 mV
- Compensado en temperatura de 0 a 85°C
- Medida diferencial
- 2 Puertos

- Salida de variación ratiométrica con el voltaje de alimentación
- Voltaje de alimentación: 0 V a 16 V (típico: 10 V)
- Corriente típica: 6 mA
- Sensibilidad: 2.5 mV/kPa
- Linealidad: -1 a 1
- Tiempo de respuesta: 1 ms
- Warm-Up Time: 20 ms
- Salida lineal, calibrado y compensado en temperatura
- Presión en P1 debe ser siempre mayor o igual a P2
- Presión continua máxima: 75 kPa (10 psi) (P1¿P2)
- Ráfaga de presión máxima: 100 kPa (14 psi) (P1¿P2)
- Puerto P1 protegido con gel de silicona
- Cuerpo durable de Epoxy
- Temperatura de operación: -40 a +125°C
- Encapsulado: Unibody CASE 344C-01 de 4 pines

Las características y pruebas de confiabilidad se basan en aplicaciones de medida de presión con aire seco. Aplicaciones con diferentes gases o fluidos, o con aire húmedo, pueden causar efectos adversos en el desempeño y/o en la confiabilidad del dispositivo. Para emplear con otros medios consulte al fabricante Freescale.



**Figura 4-11:** Sensor de presión MPX2010DP [26]

### **Sensor de nivel de agua o presión (presostato [29]), en lavadoras**

La mayoría de lavadoras automáticas o semi automáticas modernas utilizan un sensor de presión para medir el nivel de agua que hay en el tambor. El sistema más común y efectivo no tiene contactos eléctricos o interruptores para los niveles, sino más bien una información constante hacia el circuito de control. Del fondo del tambor o canal se conecta una manguera que sube hacia el sensor de presión, es usual que se encuentre en la parte trasera y arriba de la lavadora, cerca de la entrada del agua.

La figura **4-12** más común para estos sensores es esta:



**Figura 4-12:** Presostato [45]

### **Sensor de presión MP3V5004DP**

El transductor piezoresistivo de la serie MP3V5004G [30] es un sensor de presión de silicio monolítico de vanguardia diseñado para una amplia gama de aplicaciones, pero particularmente aquellas que emplean un microcontrolador o microprocesador con entradas A / D. Este sensor combina un medidor de tensión implantado de alta sensibilidad con avanzadas técnicas de micro mecanizado, metalización de película delgada y procesamiento bipolar para proporcionar una señal de salida analógica precisa y de alto nivel que es proporcional a la Presión aplicada.

Características del sensor MP3V5004DP:

- Temperatura Compensada entre 10°C y 60°C
- Disponible en montaje en superficie de calibre (SMT) o en agujero pasante (DIP) Configuraciones
- Paquete de Termoplástico Duradero (PPS)

**Aplicaciones Típicas:**

- Nivel de agua de lavadora
- Idealmente adecuado para sistemas basados en microprocesadores o microcontroladores



**Figura 4-13:** Sensor de presión MP3V5004DP [30]

Se escogió el sensor ultrasónico y el sensor de presión MP3V5004DP porque ambos se tenían a la mano, el sensor ultrasónico cuenta con una electrónica integrada que hace fácil su implementación y el sensor de presión MP3V5004DP es un sensor que cuenta con un spam adecuado para el estudio que se desea y su sensibilidad hace que los datos que se obtengan sean más exactos.

### **4.2.3. Valoración de los sistemas de comunicación inalámbrica**

En esta Sección se presentará los posibles módulos de comunicación inalámbrica que pueden cumplir con los requerimientos para evitar el uso de cableado en el sistema de calibración.

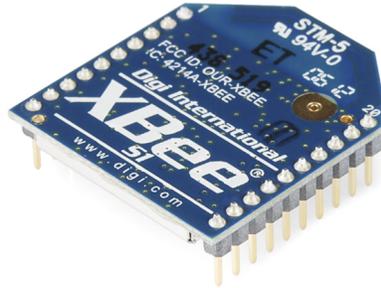
## Xbee

Los módulos XBee RF proporcionan a los fabricantes de equipos originales una superficie común compartida por múltiples plataformas, incluidas las topologías multipunto y ZigBee / Mesh, y las soluciones de 2,4 GHz y 900 MHz. Los OEMs que despliegan el XBee pueden sustituir un XBee por otro, dependiendo de las necesidades dinámicas de la aplicación, con un desarrollo mínimo, un riesgo reducido y un tiempo menor.

Los módulos XBee 802.15.4 RF son ideales para aplicaciones que requieren latencia baja y sincronización de comunicación predecible. Proporcionando una comunicación rápida y robusta en configuraciones punto a punto, peer-to-peer y multipunto / estrella, los productos XBee 802.15.4 [27] permiten una conectividad robusta de punto final con facilidad. Los módulos XBee 802.15.4 RF maximizan el rendimiento si se implementan como un reemplazo de cable puro para una comunicación serial sencilla o como parte de una red de sensores de concentrador más compleja. Y facilidad de desarrollo.

### Ventajas

- Comunicaciones RF sencillas, sin necesidad de configuración
- Topología de red punto a multipunto
- 2,4 GHz para el despliegue mundial
- Huella común de XBee para una variedad de módulos RF
- Modos de sueño de bajo consumo
- Opciones de múltiples antenas



**Figura 4-14:** Módulo Xbee serie 1 [51]

## **NRf24101**

El nRF24L01 es un IC de transceptor de RF de 2Mbps de alta potencia (ULP) altamente integrado para la banda ISM (Industrial, Científica y Médica) de 2.4GHz. Con pico de corrientes RX / TX inferiores a 14mA, un modo de desconexión sub-uA, una gestión avanzada de la alimentación y un rango de suministro de 1,9 a 3,6V, el nRF24L01 [28] proporciona una verdadera solución ULP que permite meses a años de duración de la batería Pilas AA / AAA. El acelerador de protocolos de hardware mejorado ShockBurst descarga adicionalmente funciones de protocolo críticas desde el microcontrolador de aplicaciones, permitiendo la implementación de una conectividad inalámbrica avanzada y robusta con microcontroladores de terceros de bajo coste.

El nRF24L01 integra un transceptor RF de 2,4 GHz completo, sintetizador de RF y lógica de banda base incluyendo el acelerador de protocolo de hardware ShockBurst mejorado que soporta una interfaz SPI de alta velocidad para el controlador de aplicación. No se requieren filtros de bucle externo, resonadores o diodos VCO varactor, circuitos de coincidencia y antena.



**Figura 4-15:** Módulo NRF24101 [28]

Se escogió el módulo XBEE porque a la hora de emparejar dos módulos, ellos ya se encuentran enlazados entre si y no se necesita una configuración especial para su emparejamiento y además eran módulos que se tenían a la mano.

#### 4.2.4. Valoración de programadores

En esta Sección se presentará los posibles compiladores para realizar la programación del PIC utilizado.

##### **Pickit 2**

El programador / depurador de desarrollo PICKIT™ 2 [38] es una herramienta de desarrollo de bajo costo con una interfaz fácil de usar para programar y depurar las familias de microcontroladores Flash de Microchip. La

interfaz de programación completa de Windows soporta las familias de línea de base (PIC10F, PIC12F5xx, PIC16F5xx), de gama media (PIC12F6xx, PIC16F), PIC18F, PIC24, dsPIC30, dsPIC33 y PIC32 de microcontroladores de 8 bits, 16 bits y 32 bits Muchos productos Microchip Serial EEPROM. Con el potente MPLAB Integrated Development Environment (IDE) de Microchip, el PICKit™ 2 permite la depuración en circuito en la mayoría de los microcontroladores PIC®. En-Circuit-Debugging ejecuta, detiene y realiza un solo paso en el programa mientras el microcontrolador PIC está incrustado en la aplicación. Cuando se detiene en un punto de interrupción, los registros de archivos pueden ser examinados y modificados.

No es compatible para PICs de nueva generación.



**Figura 4-16:** Pickit 2 [38]

## Pickit 3

El PICKit 3 es la herramienta de depuración y programación más sencilla y de menor coste de Microchip. Está totalmente soportado por el MPLAB IDE, y tiene una sencilla conexión USB Full Speed con el ordenador que no solo permite programar y depurar sino también hacer update del firmware interno del PICKIT3.

Tiene circuitos para protección de sobre tensión y de corto circuito, permite ejecución en tiempo real y soporta tensiones desde 2.0V.

Respectando la norma USB puede dar 100mA al circuito donde está conectado y tiene LEDs de información rápida para el usuario. Además de



**Figura 4-17:** Pickit 3 [37]

estas funcionalidades, hay una que es muy interesante y en algunos entornos bastante útil del PICKIT3 que es la funcionalidad “Programmer-To-Go”.

La funcionalidad “Programmer-To-Go” permite de una forma muy sencilla programar cualquier microcontrolador de las familias PIC16, PIC18, PIC24, dsPIC33F y PIC32 de Microchip sin necesitar de un ordenador, lo que es muy útil si se está en un entorno donde llevar un ordenador no es practico o es del todo imposible.

El PICKit3 permite guardar un código de hasta 512KB en su Flash, esto se hace desde el MPLAB y después llevar el PICKIT 3 y de forma autónoma sólo alimentando el PICKit3 desde el USB (puede ser un cargador con salida usb como ya se tiene para algunos móviles o para baterías de grabadores de video) programar “In Situ” nuestro dispositivo.

Se optó por el pickit 3 porque es el que se contaba de momento y a comparación de pickit 2 si es compatible con los PICS de nueva generación que hace que su programación sea más óptima.

## 4.2.5. Valoración de software

### 4.2.5.1. Programa para Simular comunicación serial

#### Hercules

Hercules utilidad SETUP [34] es útil puerto serie terminal (RS-485 o RS-232 terminal), UDP/IP terminal y TCP/IP Client Server terminal. Fue creada solamente para el uso interno de HW group, ¡pero hoy incluye muchas funciones en una utilidad y es Freeware! Con nuestros dispositivos originales (Convertidor Serie/Ethernet, Buffer RS-232/Ethernet o I/O Controller) puede ser usada para Setup UDP. Hercules es gran utilidad cuando Usted está trabajando con los dispositivos e interfaces seriales y Ethernet.

#### Características básicas

- Todas las utilidades básicas de TCP y UDP en un archivo, no es necesaria ninguna instalación (justamente una .EXE file)
- Implementado Puerto Serie Terminal está trabajando con los Puertos Series Virtuales (por ejemplo, COM12). Usted puede comprobar y controlar todas las líneas de puerto serie (CTS, RTS, DTR, DSR, RI, CD)
- Sencillo TCP client (como Hyperterminal) con el soporte de TEA, formato de view, transferencia de archivos, macros ....

- TCP Server es fácil de utilizar con el soporte de TEA, formato de view, transferencia de archivos, macros.
- Hercules contiene sencillo "Terminal UDP/IP con formatos de view, eco, transferencia de archivos, macros.
- Soporte del NVT (Network Virtual Terminal - terminal virtual de red) en el tab de modo de prueba, igual como las características de depuración de NVT.
- Usando Telnet extendido con NVT permite la configuración del puerto serie (RFC2217), identificación de dispositivo, confirmación de los datos de secuencia, etc.
- Es FREEWARE, Usted puede usar y compartir este software libre - compruebe la licencia!

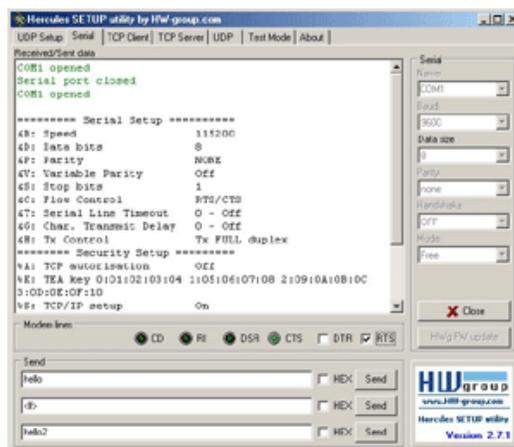


Figura 4-18: tab serial de utilidad Hercules [34]

#### 4.2.5.2. Programas para el diseño de circuitos electrónicos

En esta Sección se presentará los posibles software para el diseño y simulación de los circuitos impresos y realización de las PCB.

##### **Proteus**

Proteus es un entorno integrado diseñado para la realización completa de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño, simulación, depuración y construcción. Sin la utilización de la suite Proteus, el proceso para construir un equipo electrónico basado en un microprocesador se compone de las siguientes etapas:

- Diseño del circuito Electrónico
- Diseño del circuito impreso
- Construcción del prototipo físico.
- Desarrollo del software
- Pruebas de funcionamiento

El primer paso en nuestro trabajo consiste en diseñar el esquema electrónico.

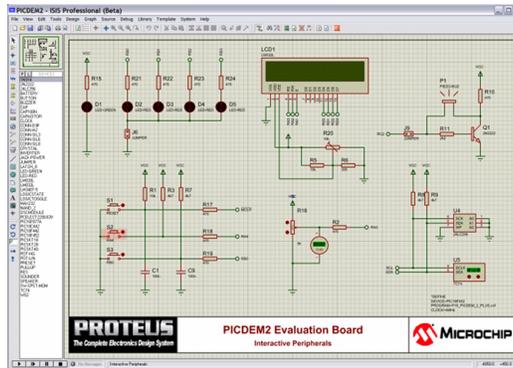


Figura 4-19: Esquema electronico [33]

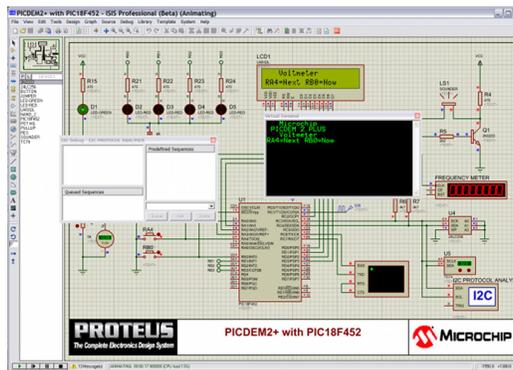


Figura 4-20: Simulación del Circuito Electrónico [33]

Durante la elaboración del mismo, se puede realizar simulaciones avanzadas del funcionamiento de nuestro proyecto utilizando las herramientas ProSPICE (simulación del circuito electrónico) y VSM (simulación de la lógica del programa cargado en el microprocesador). Una vez diseñado el esquema electrónico, se genera de forma automática la lista de redes (NETLIST). Una red es un grupo de pines interconectados entre sí y la lista de redes es una lista con todas las redes que forman nuestro diseño. El módulo encargado de diseñar la placa de circuito impreso es capaz de recibir esta lista de redes para, a partir de ella, construir nuestra PCB. De esta forma se asegura que la placa tendrá unidos entre sí los pines de forma idéntica a como se ha definido en el esquema electrónico.

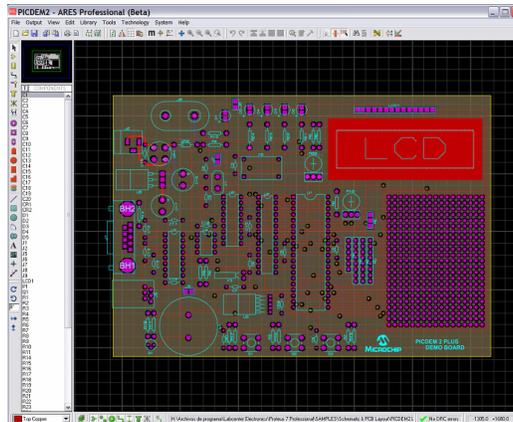


Figura 4-21: Netlist Circuito [33]

Por último, se puede obtener una imagen en tres dimensiones de nuestro diseño.

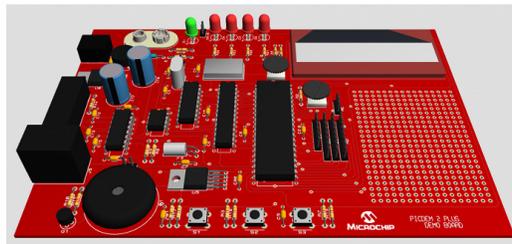


Figura 4-22: Diseño 3D del circuito [33]

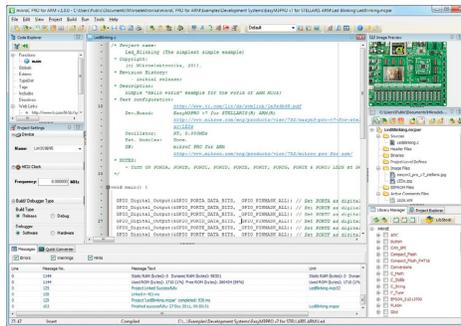
## Eagle

EAGLE es una aplicación de automatización de diseño electrónico programable con captura esquemática, diseño de placa de circuito impreso, autorouter y características de fabricación asistida por ordenador. EAGLE [39] significa Editor de diseño gráfico fácilmente aplicable y desarrollado por CadSoft Computer GmbH. Cadsoft Computer GmbH fue adquirido por Autodesk Inc. en 2016. El sitio popular de la electrónica de DIY SparkFun utiliza EAGLE, y libera los archivos de EAGLE para los tableros diseñados internamente. Otros usuarios notables incluyen Adafruit, Arduino y Prototipos Peligrosos.

Características del programa Eagle:

- EAGLE contiene un editor esquemático, para el diseño de diagramas de circuitos. Las piezas se pueden colocar en muchas hojas y conectarse a través de los puertos.
- El editor de diseño de PCB permite devolver la anotación al esquema y el enrutamiento automático para conectar automáticamente las trazas en función de las conexiones definidas en el esquema.
- EAGLE guarda los archivos de diseño Gerber y PostScript y los archivos de perforación Excellon ,Sieb y Meyer. Estos archivos estándar son aceptados por muchas compañías de fabricación de PCB.





**Figura 4-24:** MikroC for PIC [35]

lizado en una amplia variedad de aplicaciones, y C,preciado por su eficiencia, es la elección natural para el desarrollo de sistemas embebidos. MikroC PRO for PIC proporciona una coincidencia exitosa con compilador altamente compatible con IDE, ANSI, amplio conjunto de bibliotecas de hardware, documentación exhaustiva y un montón de ejemplos listos para ejecutar. Características de MikroC Pro:

- Escribe su código fuente C utilizando el editor de código incorporado (asistentes de código y parámetros, plegado de código, resaltado de sintaxis, corrección automática, plantillas de código y más).
- El uso incluido mikroC PRO para las bibliotecas del PIC para acelerar dramáticamente el desarrollo: la adquisición de datos, la memoria, las exhibiciones, las conversiones, la comunicación etc.
- Supervisa la estructura del programa, las variables y las funciones en el Explorador de códigos. Generar ensamblaje comentado, legible por el usuario y compatible con HEX estándar con todos los programadores.
- Utiliza la herramienta de depuración en tiempo real integrada de mikroICD (depurador en circuito) para supervisar la ejecución del programa en el nivel de hardware.

- Inspecciona el flujo del programa y depure la lógica ejecutable con el Software Simulator integrado.
- Obtiene informes y gráficos detallados: mapa de RAM y ROM, estadísticas de código, lista de ensamblajes, árbol de llamadas y más.
- MikroC PRO for PIC proporciona un montón de ejemplos para expandir, desarrollar y usar como ladrillos de construcción en sus proyectos. Copiarlos por completo si lo consideran adecuado - es por eso que se incluye con el compilador.

## CCs

CCS desarrolló el primer compilador C para microcontroladores Microchip hace más de 20 años y continúa proporcionando soluciones de software a los desarrolladores de aplicaciones integradas que utilizan dispositivos PIC® MCU y PIC24 / dsPIC® DSC. Los compiladores CCS [40] son fáciles de usar y rápidos de aprender. Para el programador menos experimentado, un libro de texto detallado que explica el lenguaje C y cómo se puede aplicar a los microcontroladores PIC®.

Nuestros productos de compilación incluyen optimización a nivel pro, la mayor biblioteca de funciones incorporadas, potentes comandos de preprocesador específicos de PIC® MCU y programas de ejemplo listos para ejecutar para iniciar rápidamente cualquier proyecto. Nuestra masiva base de clientes nos proporciona acceso a la comprensión de los requerimientos de nuestros clientes mientras desarrollamos características avanzadas con frecuentes lanzamientos y errores raros.

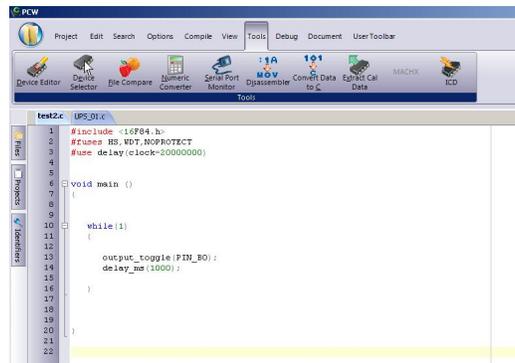


Figura 4-25: Workspace de Ccs [40]

## MPLAB X

MPLAB X IDE es un programa de software que se ejecuta en una PC (Windows®, Mac OS®, Linux®) para desarrollar aplicaciones para microcontroladores Microchip y controladores de señales digitales. Se llama un entorno de desarrollo integrado (IDE), ya que proporciona un único .entornointegrado para desarrollar código para microcontroladores integrados.

MPLAB X Integrated Development Environment trae muchos cambios a la cadena de herramientas de desarrollo de microcontroladores PIC®. A diferencia de versiones anteriores del MPLAB IDE que se desarrollaron completamente en casa, MPLAB X [41] IDE se basa en el IDE NetBeans de código abierto de Oracle. Tomar este camino nos ha permitido agregar muchas características frecuentemente solicitadas de forma muy rápida y sencilla, a la vez que nos proporciona una arquitectura mucho más extensible para ofrecerle aún más nuevas características en el futuro.

Se trabajó con el Mikroc Pro pues de las tres, cuenta con una versión académica que brinda facilidad para su uso y también es un entorno que nos ofrece de manera más practica el uso de sus librerías y funciones para la creación de firmware para los PICS.



Figura 4-26: Área de trabajo de MPLab [41]

## Entorno de desarrollo para diseñar sistemas

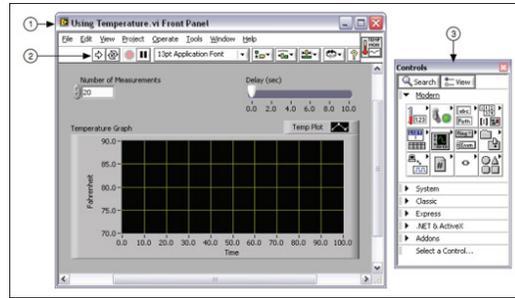
### Labview

El software NI LabVIEW [36] es un entorno de programación gráfica (G) que utiliza íconos, terminales y cables en lugar de texto para ayudarle a programar de la misma manera en que usted piensa. Tal como aprender cualquier software de programación nuevo, aprender cómo programar en LabVIEW requiere saber cómo navegar en el entorno. El siguiente módulo explora las potentes herramientas y características en LabVIEW.

**Instrumentos Virtuales (VIs)** Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o VIs ya que su apariencia y operación imitan a los instrumentos físicos, como osciloscopios y multímetros. LabVIEW contiene una extensa variedad de herramientas para adquirir, analizar, visualizar y almacenar datos, así como herramientas para ayudarle a solucionar problemas en el código que escriba.

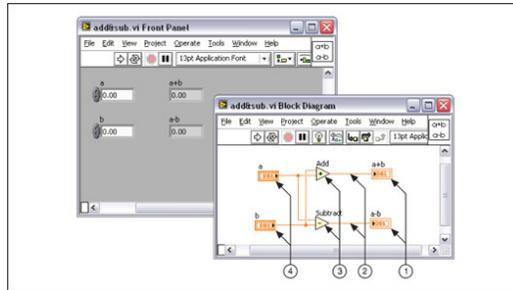
Cuando crea un nuevo VI, ve dos ventanas: la ventana del panel frontal y el diagrama de bloques.

**Panel Frontal** Cuando abre un VI nuevo o existente, aparece la ventana del panel frontal del VI. La ventana del panel frontal es la interfaz de usuario para el VI. La Figura 4-27 muestra un ejemplo de una ventana del panel frontal.



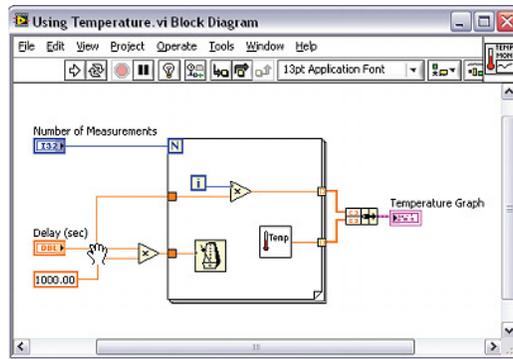
**Figura 4-27:** Ventana del Panel Frontal, Barras de Herramientas y Paleta de Controles [36]

**Diagrama de bloques** Los objetos del diagrama de bloques incluyen terminales, subVIs, funciones, constantes, estructuras y cables, los cuales transfieren datos junto con otros objetos del diagrama de bloques.



**Figura 4-28:** Terminales de Indicador, Cables, Nodos, Terminales de Control [36]

**Ventana del Diagrama de Bloques** Después de crear la ventana del panel frontal, añade código usando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. La ventana del diagrama de bloques contiene este código de fuente gráfica.



**Figura 4-29:** Diagrama de Bloques [36]

## 4.2.6. Diseño del prototipo

De todos los sensores considerados tres de ellos fueron con los que finalmente se trabajó; dos sensores de presión y uno ultrasónico: el MP3V5004DP, el presostato de lavadora y el sensor ultrasónico *HC-SR04*. Para estos prototipos se trabajó en dos aspectos fundamentales: El diseño electrónico (Hardware) y en el procesamiento y análisis de la señal por parte del microcontrolador (Firmware), así como la comunicación con el módulo *XBEE*. Dicho esto, se mostrará cada uno de los diseño que se llevaron a cabo para cada uno de los sensores, el firmware utilizado en cada caso y al final, en forma general.

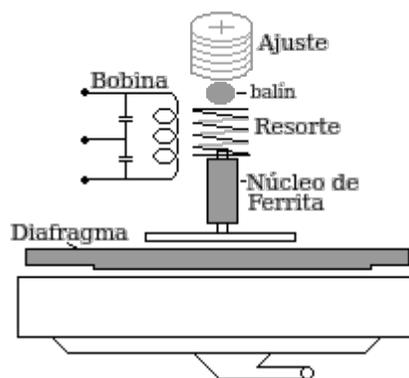
### 4.2.6.1. Presostato de lavadora Samsung

Teniendo en cuenta que el fenómeno a medir era el nivel del agua a lo largo del tiempo en puntos del canal que se selecciona a libertad, se pensó en la implementación de uno de los sensores utilizados en la mayoría de lavadoras automáticas o semiautomáticas del mercado, este dispositivo sensa el nivel del agua a partir de la lectura de la presión gracias a su mecanismo interno que desplaza un diafragma y este a su vez un núcleo de ferrita al interior de una bobina, figura 4-12.

Se ubica una manguera en el fondo del canal y que suba hasta la superficie donde se conectará a la entrada de presión del sensor. Con esto en mente, solo se debía realizar el diseño de un circuito adecuado que hiciera la lectura el sensor y que posteriormente se implementara tal cual se mencionó antes.

”El sensor es una bobina que al entrar un núcleo de ferrita en él cambia su inductancia” [4]. Tal como se explicó en el **capítulo 3**, el circuito es un

circuito resonante compuesto por una bobina y dos capacitores. "El funcionamiento mecánico es simple, al subir el nivel de agua presiona el aire que hay en la manguera y la cámara donde está un diafragma de hule, el cual empuja una placa plástica que lleva el núcleo de ferrita, hay un resorte que se opone a ese empuje, además hay un ajuste plástico para el ajuste fino, que aunque se puede ajustar desde fuera, ya viene ajustado de fábrica, algunos sensores de presión llevan dentro un balín (bolita de acero)" [4].



**Figura 4-30:** Componentes del presostato de lavadora [52].

Para hacer la lectura del sensor se hace necesario la implementación de un arreglo de resistencias, diodos para protección y un integrado con 6 inversores de los cuales se usaron 4, tal como se observa en la figura 4-31. Dos inversores se utilizan como osciladores y los otros dos se utilizan como buffer.

El diseño del circuito se llevó a cabo utilizando las herramientas dispuestas por el software *Proteus*, Como bien se observa en la figura 4-31.

Se puede observar en la imagen del circuito esquemático (figura 4-31) que la parte comprendida por la alimentación consta de un conector tipo *Molex* para alimentar a +5v y tierra, una resistencia en serie al LED para limitar la corriente que pasa por el mismo y hacer que encienda; este arreglo es para indicar, con el encendido del LED, que la tarjeta se encuentra alimentada. Además de lo anterior se observan dos diodos, no importa qué tipo



de tensión [42] . la resistencia y el LED van en conjunto; la resistencia va conectada al pin 8 del microcontrolador, esta limitara la corriente y hará que encienda el LED como indicador de que el microcontrolador está funcionando (Esto se debe programar en el firmware del microcontrolador).

Los pines de programación del microcontrolador no se encuentra dentro de la sección anterior pero hace parte del mismo, estos son los pines que permiten cargar el firmware desde el computador hasta el microcontrolador, a través de el pickit 3; una herramienta de programación de la empresa microchip.

Por otro lado se tiene el modulo *Xbee* que "son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos" [27]. "Básicamente XBee es propiedad de Digi basado en el protocolo Zigbee. En términos simples, los XBee son módulos inalámbricos fáciles de usar", como se observa en el esquemático del prototipo **4-31**, posee 4 conexiones básicas para su funcionamiento. Los pines de alimentación, 3.6V y tierra correspondientes al los pines 1 y 10, respectivamente; Los pines de comunicación UART, los cuales permitirán el paso de información del microcontrolador al modulo y viceversa. Los pines de transmisión y recepción corresponden los pines 2 y 3, respectivamente.

Finalmente, se encuentra con la parte correspondiente al presostato, cuyas partes y funcionamiento fueron mencionadas.

El entorno de *Proteus*, dentro de sus muchas herramientas, nos permite hacer el diseño de forma esquemática, figura **4-31**; hacer el diseño PCB en el apartado de *ARES*, tal como se puede observar en la figura **4-32**. Cabe aclarar que en el diseño PCB ilustrado los componentes se observan des de la vista superior, las pistas del color azul son las que van por debajo de de la *Baquela* y las azules son puentes que tendrá el circuito debido a que

este será *monocapa*. En PCB se muestra los componentes en tamaño real, un aproximado de como será cuando se tenga el producto final. Dentro del PCB se decidió colocar las iniciales de quienes desarrollan la tesis sí como las instituciones involucradas, la universidad Tecnológica De Bolívar, UTB; y La Escuela Naval De Cadetes "Almirante Padilla", ENAP.

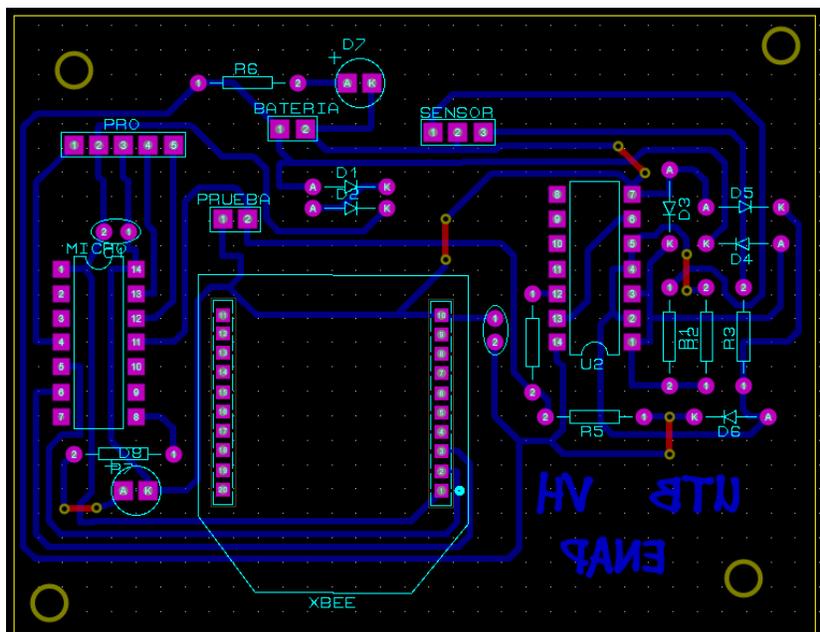
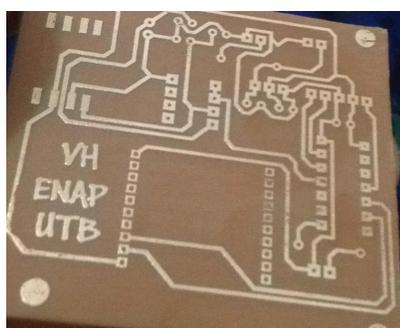


Figura 4-32: Diseño PCB de circuito:Presostato.

El diseño tiene como dimensiones 6.3cm de alto y 8.3cm de ancho por lo que para llevarla a cabo se utilizó una baquela de 10cm x 10cm y luego se ajustó al tamaño. Se llevó a cabo bajo el proceso de transferencia térmica en la que se imprime el circuito en una hoja con propiedad de transferencia, se plancha sobre la baquela. Luego de que esté completamente adherido, se procede a echar agua para remover el papel. Por ultimo se introduce dentro de *percloruro férrico* para remover el cobre en exceso y tener un acabado como el se observa en la imagen 4-33a.



(a)



(b)

**Figura 4-33:** a resultado despues de quitar el exceso de cobre.b Resultado final

Luego de tener el circuito deseado, lo siguiente fue hacer las perforaciones para posteriormente hacer el montaje y soldadura de los componentes, tal como se observa en la imagen 4-33b. Se hacen las pruebas de funcionamiento básicas de un circuito electrónico, verificar que no existan cortos, que la alimentación llegue a los puntos donde deba llegar y demás, para evitar el daño de componentes al momento de soldarlos a la placa.

La selección del presostato de lavadora fue algo experimental, es un elemento de repuesto que se obtuvo de una tienda, se tuvo en cuenta que era capaz de medir el nivel por lo que se decidió utilizar por tener un fácil acceso a él. La información que se tenía radicaba en como hacer la reparación en caso de que el sistema de nivel de la lavadora fallara, dicha información se utilizó para saber cual era el circuito de acondicionamiento de la señal

arrojada por el presostato. Como se mencionó con anterioridad, la señal que finalmente llegaba al microcontrolador era una señal oscilante, partiendo de esa información se realizaron ciertas pruebas para verificar el funcionamiento del sensor.

Para obtener la lectura de la oscilación se hizo uso de un firmware que fuera capaz de leer frecuencias a partir de interrupciones, se adaptó para el microcontrolador y posteriormente se le programó. Dicho código fue proporcionado por un participante de la comunidad de *libstock*, lo que se hizo fue adaptarlo a las especificaciones del microcontrolador a utilizar, PIC16F688. El código empleado sigue la misma estructura lógica que el Algoritmo 1 del Anexo.

El código que se programó al microcontrolador para la lectura de la frecuencia constaba inicialmente en la declaración de las variables globales que posteriormente se utilizarían en el programa. Variables como *contador* que correspondía

Luego de haber realizado el prototipo y ultimar detalles del firmware, se hicieron las respectivas pruebas sobre el sensor. Como se mencionó, se debía caracterizar, teniendo en cuenta que no se sabía toda la información porque no se contaba con su *datasheet*. Se debía corroborar la sensibilidad del sensor, si serviría para obtener los datos que se necesitaban en las pruebas.

Las pruebas realizadas nos permitirían determinar la relación que existía entre la frecuencia y la presión sensada. Se necesitaba tomar una cantidad significativa de valores, graficarlos en un software que fuera capaz de arrojar la ecuación característica de la curva asociada obtenida. Con esta ecuación se tendría la relación entre la frecuencia y la profundidad. Se tenía conocimiento, por trabajos anteriores, que inicialmente se podía conocer la información que llegaba al computador a través de los *XBEE* sin tener desarrollado un

software como tal. Se utilizaron las herramientas de comunicación serial de *Hercules* para solventar esta tarea.

Se contaba con una comunicación directa a un computador gracias a que la *XBEE* de recepción se encontraba conectado a un puerto USB del mismo gracias a un adaptador USB-Serial. Para obtener la información proveniente del microcontrolador en el computador, se utilizó *Hercules*. Se debía identificar a que puerto se encontraba conectado la *Xbee* de recepción y ajustar los parámetros para que los datos mostrados correspondieran a los enviados desde el prototipo. los parámetros a configurar se observan en la parte derecha del software ( figura **4-18**), siendo los baudios el más relevante debido a que el usuario decide la velocidad deseada. Para las pruebas se utilizó una velocidad de baudios de 38400. los baudios deben coincidir entre el emisor y el receptor para que este último pueda visualizar correctamente los caracteres que llegan. La comunicación se establece dando click sobre el botón de *open* y, siempre y cuando el prototipo esté emitiendo datos, la información receptionada se visualiza en el software, tal como se muestra en la imagen **4-18**.

Se utilizó un balde y una regla como ayuda para realizar las mediciones. La manguera del sensor se adaptó a la regla para que se tuviera una referencia de la profundidad a la que se iba sumergiendo. El balde se llenó de agua y se procedió hacer las pruebas. Los resultados son los que se muestran en la tabla **4-1**. Como se puede observar, se hicieron 18 tomas, limitados por la profundidad del balde. La manguera se sumergía centímetro a centímetro y se registraba los valores de frecuencia que se iban obteniendo. Esto fue posible gracias a que se contaba con un software con *Hercules* como herramientas para la comunicación serial. Como bien se ha explicado antes, el sensor toma la lectura, la señal se vuelve oscilante con los inversores, la señal resultante llega al pin del microcontrolador asociada, se procesa y se envía vía UART al módulo XBEE que lo reenvía al XBEE receptor conectado al computador vía USB. El XBEE receptor se comunica con el *Hercules* mediante un puerto

**Tabla 4-1:** Datos obtenidos en las mediciones hechas con el presostato

Datos	Frecuencia (Hz)		Profundidad (cm)
	Rango		
1	31746.02	31250	0
2	31746.02	31250	1
3	31746.02	31250	2
4	31746.02	31250	3
5	31746.02	31250	4
6	31746.02	31250	5
7	31746.02	31250	6
8	31746.02	31250	7
9	31746.02	31250	8
10	31250		9
11	31250	30769.22	10
12	31250	30769.22	11
13	31250	30769.22	12
14	31250	30769.22	13
15	30769.22		14
16	30769.22		15
17	30769.22		16
18	30769.22	30303.02	17

COM, previamente configurado y conocido, es decir, la información leída por el sensor llega al computador a través de un puerto COM.

Tal como se puede observar en la tabla **4-1**, las frecuencias obtenidas con el cambio de profundidad de la manguera se mantenían en rangos de profundidad lo cual no era conveniente para la aplicación que se le quería dar. Además que no era una frecuencia constante, la mayoría de los valores oscilaban en dos frecuencias. Los primeros 9 datos que se tomaron, recorrían una profundidad de 0cm hasta 8cm, poseían los mismos intervalos de frecuencia con lo que al momento de hacer una lectura se tendría una incertidumbre de cuanto era la profundidad correspondiente a la oscilación de frecuencia leída. El mismo fenómeno se repitió con los datos siguientes. Los resultados los decían, la sensibilidad del sensor a los cambios de nivel no eran las que exigía el registro de nivel de las olas a lo largo del tiempo en el canal de prueba de modelos.

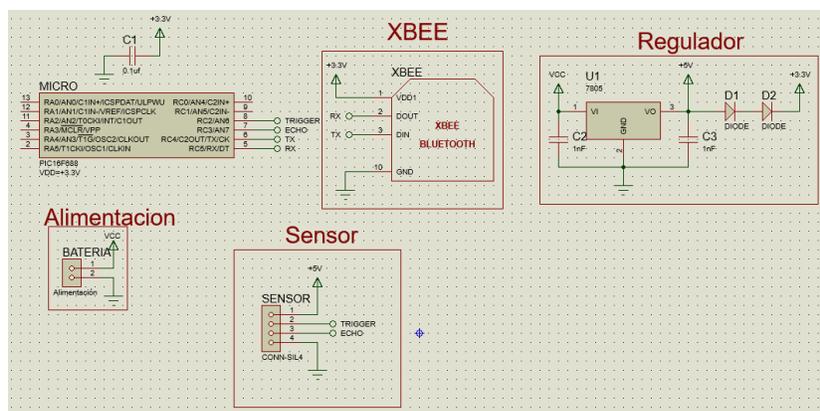
No se trabajó más sobre el este sensor debido a que si se procesaban los datos en el microcontrolador y posteriormente llegaban al computador, dichos datos no tendrían ninguna relevancia por lo que se decidió dejar de lado el sensor de presión. El no contar con el datasheet del dispositivo fue lo que nos llevó a realizar las pruebas y validar la aplicación o no del sensor en la toma de datos.

#### **4.2.6.2. Sensor ultrasónico *HC-SR04***

El segundo sensor con el que se trabajó fue el sensor ultrasónico *HC-SR04*. Es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm [43]. Se aprovecharon las propiedades de estimar distancia para hacer las mediciones del cambio de nivel durante el oleaje producido por el generador de olas.

Previamente se corroboró que fuese capaz de medir la distancia a la que se encuentre un fluido. Se conoce que el sensor posee la capacidad de medir la distancia de objetos teniendo en cuenta el tiempo que demora el retorno de una onda ultrasónica que este mismo emite. Hasta ese momento no se tenía conocimiento sobre la capacidad de rebote de una onda ultrasónica sobre el agua y que el sensor pudiera medir la distancia al que este se encontrara. Para tener plena seguridad, se realizaron pruebas previas al desarrollo del PCB del modelo. El circuito se desarrolló en una protoboard y se procedió a hacer las pruebas. Con una regla se corroboró si los valores que arrojaba el sensor correspondía a la distancia real que existía entre el dispositivo y el fluido.

De igual forma que con el presostato, se hizo un diseño en *Proteus* para el prototipo basado en el sensor ultrasónico (figura ??). Como se ha mencionado en repetidas ocasiones, el microcontrolador y el módulo *XBEE* serán el factor común de los diseños, estos componentes no cambiarán.



**Figura 4-34:** Diseño esquemático de circuito:Ultrasónico.

A diferencia del anterior modelo, este diseño posee un regulador de voltaje de 5V con dos condensadores de diferente valor de faradios, recomendado por el datasheet para evitar errores al momento de mantener la salida a 5V. La razón de ser de el regulador radica en el diseño de un dispositivo portable y autónomo, alimentado por una batería de 9V; regular la tensión a un nivel

e voltaje de trabajo admisible por los dispositivos involucrados es indispensable. El sensor ultrasónico, como bien se especifica en su hoja de datos, se alimenta con 5V [43]; el modulo *XBEE* a 3.3V pero, al igual que el diseño anterior, se trabajará a 3,6V, este voltaje no sobrepasará su voltaje máximo de trabajo [47] El microcontrolador tiene un voltaje de funcionamiento que va desde los 2V hasta los 5V [48]. Se decide alimentar ambos componentes a +3,6V para que al momento que se de la comunicación serial entre en modulo *XBEE* y el microcontrolador tengan los mismos nivel lógicos. Si el microcontrolador se alimenta a +5v sería necesario reducir el voltaje en la salida UART del microcontrolador para evitar daños en el pin receptor del modulo *XBEE*, esto se lograría con un arreglo de resistencias en división de tensión.

No se incluyeron pines de programación, la idea era hacer el montaje con un código depurado, que no existiese necesidad de reprogramarlo. Como se puede observar en la imagen **4-34**, sólo se disponen 4 conexiones para el sensor ultrasónico, dos pines de alimentación, un pin para *ECHO* y otro para *TRIGGER*. Según la información del datasheet, el sensor debe estar activo por lo menor 10 $\mu$ s [43], la activación del sensor dependerá el tiempo que esté en estado alto(+5v) el pin *TRIGGER* del sensor. Pasado el tiempo, la onda emitida por el sensor tendrá o no retorno, dependiendo del tiempo que demore en regresar (en caso de que esté un objeto en frente y dentro de su rango de operación) se calculará la distancia del objeto, siempre y cuando no sobrepase su límite, que es de 4.5 metros. Se sabrá que no se encuentra objetos dentro de su rango si la onda demora más tiempo que el tiempo límite equivalente a los 4.5 metros.

Se conectan los pines *TRIGGER* y *ECHO* del sensor al microcontrolador, a los pines 8 y 7, respectivamente. El microcontrolador mantendrá activo el *TRIGGER* del sensor por los 10 $\mu$ s requeridos y hará la lectura del retorno de la onda a través del pin *ECHO*, en la explicación del algoritmo 2 en el Anexo se explica un poco más de detalle. De igual forma que con el prototipo anterior, el sensor envía la onda de ultrasonido, choca con el obstáculo y

retorna, se activa en alto el pin *ECHO* del sensor, es decir, la señal de retorno de la onda es leída por el microcontrolador. el firmware calculara la distancia teniendo en cuenta la mitad del tiempo que transcurrió desde el disparó de la onda hasta el retorno, la distancia calculada será enviada vía UART al módulo *XBEE* y finalmente llegará la información al puerto COM del computador donde se encuentra conectada la *XBEE* de recepción.

El PCB del diseño del prototipo que incluye el sensor ultrasónico *HC-SR04* se ilustra en la figura **4-35**, es un prototipo mucho más pequeño que los anteriores. Su tamaño se debe a que el sensor ultrasónico, por ser un modulo, tiene integrados varios componentes que garantiza su correcto funcionamiento; lo que evita que sean proporcionados por el usuario, al igual que el módulo *XBEE*. Las dimensiones específicas del diseño son de  $6,15cm * 6,35cm$ , es básicamente un diseño cuadrado y compacto. A parte de las pistas de conexión de los componentes, se agregaron las siglas características de las instituciones involucradas, así como de las iniciales de quienes desarrollan la tesis, de igual forma que en los anteriores diseños.

El proceso de producción de PCB fue el mismo para los tres diseños desarrollados, mediante transferencia térmica, aprovechando las propiedades del papel *propalcote* para transferir la tinta impresa en sí, a través de presión y temperatura, a la baquela. El resultado final es el circuito de la imagen **4-36a**. se le hacen las perforaciones necesarias, se sueldan los componentes y se hacen las pruebas básicas de funcionamiento (Figura **4-36b**).

Cabe aclarar que el software para la recepción de la información fue desarrollado posterior a tener los prototipos por lo que las pruebas se hicieron con el programa *Hercules*, dicho programa posee una herramienta para la comunicación serial vía puerto COM, teniendo en cuenta que el modulo *XBEE*. receptor se encuentra conectado vía USB al computador, Hercules resulta ser una herramienta de gran utilidad para hacer el chequeo del correcto funcionamiento de los prototipos.

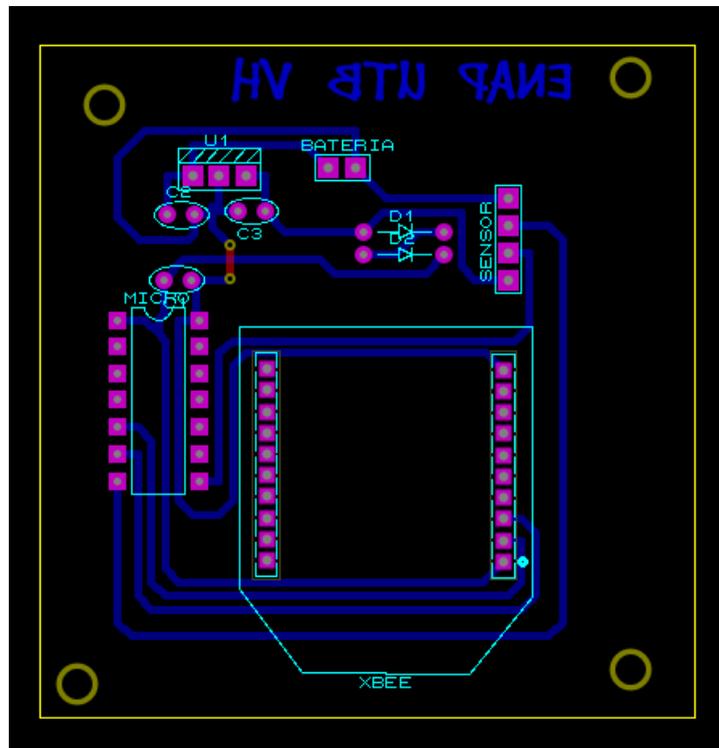
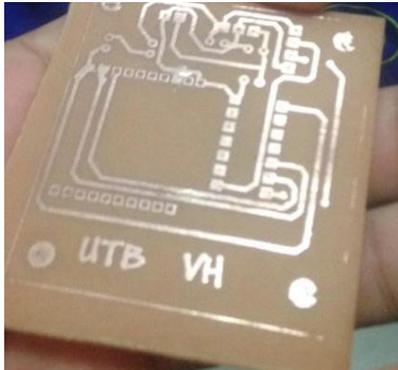


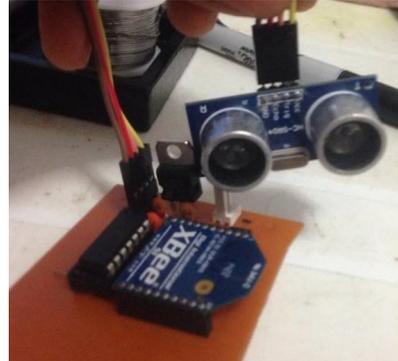
Figura 4-35: Diseño PCB de circuito:Ultrasónico.

La presentación final del prototipo se puede observar en las imágenes 4-37a y 4-37b, en donde se observa como se acondicionan el recipiente utilizado (una caja de madera) para que todo quede dispuesto de la mejor manera. Se le agrega un interruptor que permite el control ON/OFF del dispositivo, además de un Led como indicador de cuando el sistema se encuentra en funcionamiento.

La lógica secuencial del firmware programado al microcontrolador se encuentra en expuesta en el algoritmo 2 del Anexo. Como ya se explicó anteriormente, el pin de *TRIGGER* y *ECHO* del sensor ultrasónico se conecta a los pines 7 y 8 del microcontrolador. Con el *TRIGGER* activo, por parte del microcontrolador, por un lapso de  $10\mu s$  se garantiza el envío de la onda ultrasónica que al rebotar en un objeto, en este caso el agua, y será leída por el microcontrolador para posteriormente procesarla.



(a)



(b)

**Figura 4-36:** (a) Diseño sensor ultrasónico: resultado después de quitar el exceso de cobre. b Resultado final

El firmware (algoritmo ??) inicia asociando nombre a ciertos registros del microcontrolador para que sea más fácil hacer referencia a los mismos cuando se utilicen a futuro. Como buena práctica de diseño, se utilizó un LED en el diseño como indicador del correcto funcionamiento del microcontrolador. El led se conectó al pin 0 del puerto A, por lo que a los registros correspondientes a este pin se asociaron con la palabra Led: Ledr a *Trisa.b0* y Led al registro *Porta.B0*; el primero corresponde al registro que determina si el pin a utilizar será una entrada o una salida digital, el segundo, teniendo en cuenta que el Led corresponde a una salida digital, es para establecer el estado en alto (5V) o baja (0V) del pin. Las otras asociaciones que se hicieron fue con los pines de los sensores: el *TRIGGER* estaba conectado al pin 2 del puerto c, se le asignó el nombre de Trigger al registro *Portc.B2* y Triggerr al *Trisc.B2*. De la misma forma con el pin *ECHO* del sensor, se le asignó el nombre Echo al registro *Portc.B3* y Echor al registro *Trisc.B3*. Posteriormente, se desarrolla el programa dentro de la función principal, *main*. Todos los pines se declaran como digitales igualando a cero el registro ANSEL y los puertos se declaran como salidas digitales con los registros *Trisa* y *Trisc* como buena práctica de programación. Terminadas las configuraciones recomendadas para evitar errores, se configura el microcontrolador según las utilidades que se le vayan a dar. Triggerr, que se asoció al registro *Trisc.B2*,



(a)



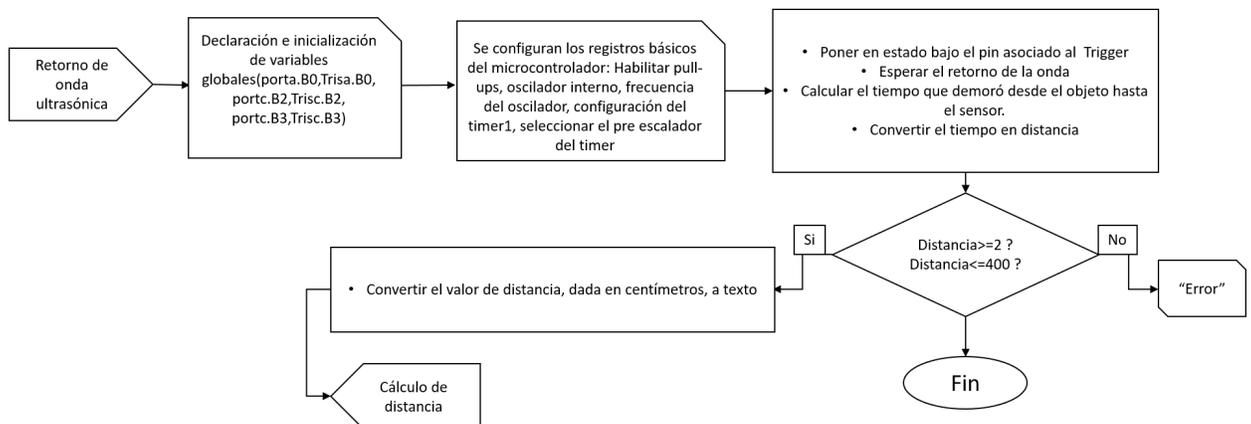
(b)

**Figura 4-37:** (a) Prototipo final: Sensor MP3V5004DP .  
(b) Conexiones internas.

se iguala a 0 para indicar que el pin es una salida digital; Echor se iguala a 1 para indicar que el pin 3 del puerto B trabajará como una entrada digital. Se configura el microcontrolador para que trabaje con un oscilador interno, que genera la base de tiempos (el reloj) del microcontrolador, con el registro *OSCCON* y de esta forma no hacer uso de un cristal de cuarzo, oscilador, en el diseño del prototipo en busca de que este ocupe el menor tamaño posible.

EL timer1 será utilizado para calcular el tiempo que demora la onda en realizar la ida y vuelta por lo que configurar su función se hace necesario, se configura el preescalador y se mantiene apagado de momento. La comunicación UART, que nos permitirá el envío y recepción de datos hacia al modulo *Xbee* y garantizar que la información llegue al pc, también se debe configurar, los pines 4 y 5 del puerto C se declaran como salida y entrada, respectivamente. Estos serían los pines Tx y Rx de la comunicación UART,

además de utilizar una velocidad de baudios de 38400. Se coloca como salida el registro del pin al que estará conectado el Led,  $Ledr = 0$ , y se mantiene en estado bajo la salida del mismo,  $Led = 0$ . Se define los procedimientos a realizar dentro del bucle **while(1)** (bucle infinito); los registros del Timer1, TMR1H y TMR1L, se igualan a cero, se activa el pin del *TRIGGER* por  $10\mu s$ . Con un bucle **while(Echo == 0)** se coloca el programa en espera hasta el retorno de la onda ultrasónica. Dicha señal activará el Timer1 y otro **while**, **while(Echo == 1)**, se determina el tiempo en el que la onda mantiene en alto el pin *ECHO* del sensor. La intención era que se conocieran los tiempos que la onda de retorno mantenía el pin de *ECHO* en alto, al activar el Timer1 cuando la onda hace el retorno, se calcula dicho tiempo que posteriormente es asignado a una variable. Se divide el tiempo entre 58,82 para hacer la conversión a distancia y se calibra sumándole un "1" al valor final. Siempre y cuando el valor sea mayor que 2 y menor a 400, el valor se convertirá en texto y será enviado vía UART al módulo. Este procedimiento se lleva a cabo de forma iterativa, solo existe una pausa cuando el sistema se deja de alimentar. Siempre y cuando el sistema cuente con la alimentación necesaria, la lectura de la distancia de objetos en frente del sensor será permanente.



**Figura 4-38:** Diagrama de lógica empleada en el Algoritmo 2 del Anexo

Las pruebas realizadas fueron satisfactorias, tanto el diseño como el código

trabajaban como se esperaba. se hicieron unas mediciones a modo de prueba para dar por terminado el prototipo.

El inconveniente que se previó fue que, pese a tener mejor sensibilidad que el presostato de lavadora, no tenía una sensibilidad tal que permitiera tomar todos los datos de la onda generada sobre el cuerpo de agua. La sensibilidad del sensor ultrasónico se encuentra en el orden de los centímetros, teniendo en cuenta que se debe hacer el registro de una onda, lo que implica cambios considerablemente pequeño por lo que puede esperarse que la sensibilidad del sensor no de abasto. Sin embargo, no se descartó del todo su utilización de este prototipo.

#### **4.2.6.3. Sensor de presión *MP3V5004DP***

Como ultimo diseño, se decidió apostar por un sensor de presión diferencial, un transductor piezoeléctrico que está diseñado especialmente para ser implementado en sistema que posean microcontroladores y microprocesadores con convertidores análogos/digitales. el sensor, por ser diferencias, tiene dos entradas de presión, una corresponde a la presión que se quiera tener como referencia, para este caso, la atmosférica y la restante es la presión que se desea monitorear. El sensor, en el pin8, según la presión sensada arroja un voltaje proporcional a la presión leída, este valor de voltaje va desde lo 5.9mV hasta 2.8V. Observando la hoja de dato se encuentran características del dispositivo:

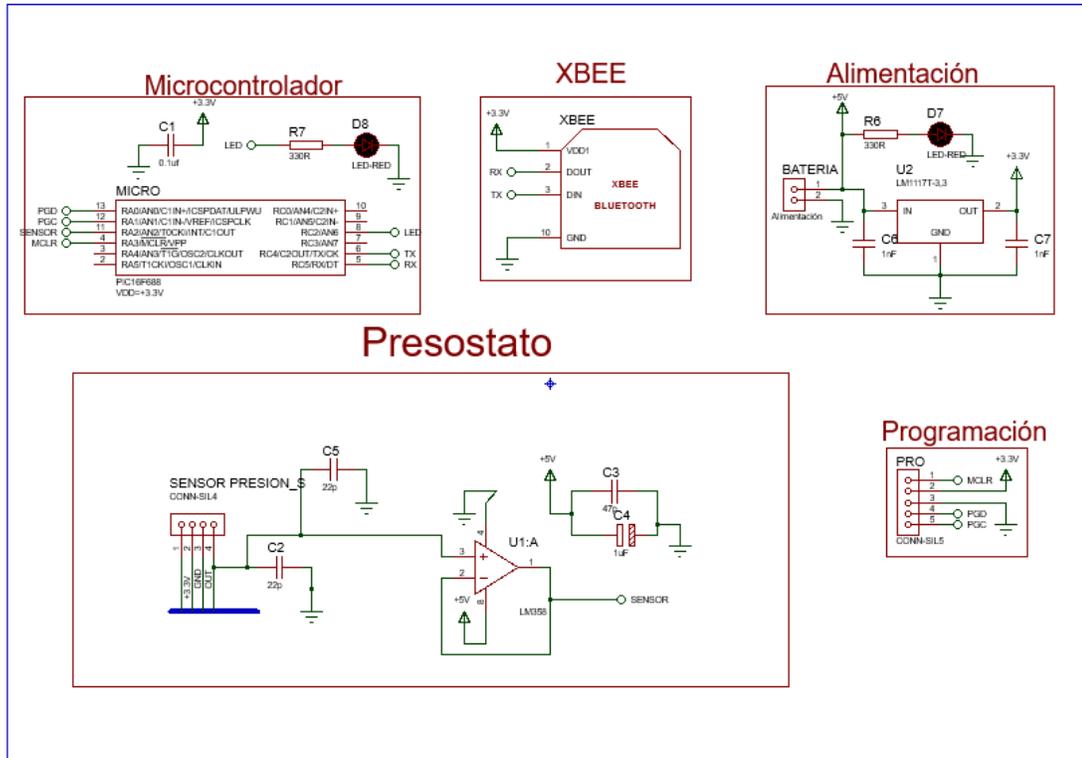
- Compensación por temperaturas
- voltaje de alimentación de 2.7V a 3.3V
- Corriente de alimentación de 10mA<sub>dc</sub>

- rango de presión de 0 a  $400\text{mmH}_2\text{O}$
- Voltaje de salida de 5.9mV a 3.0V
- Sensibilidad  $5,9\text{mV}/\text{mmH}_2\text{O}$

Todos estos datos son tomados del *datasheet* del dispositivo [49]. Sin duda alguna, es un dispositivo potente y de alta calidad. Teniendo en cuenta que la sensibilidad está en el orden de los milímetros no se espera que exista problema al momento de tomar las muestras. Como se mencionó en las características más destacadas, el sensor tiene un rango de sensado que va desde 0 hasta 40cm. Las olas no tendrán una altura mayor a esa por lo que se sumerge la manguera del sensor por 18cm por debajo de la altura normal del agua(1,2 metros).

El diseño tuvo como variante (figura **4-39**), aparte del sensor, la inclusión de un regulador de 3.3V y un amplificador operacional. La configuración de la *Xbee* y el microcontrolador no cambió en nada, solo se reconfiguró el nombre de los pines de entrada al micro para el nuevo sensor. La alimentación, por ser una especificación del *datasheet*, debió regular a 3,3V y dejar de lado los dos diodos en serie, que nos proporcionaban 3.6V. Esto porque el valor máximo de operación del sensor es de 3.3V y se decidió como voltaje de alimentación para los demás componentes, exceptuando al amplificador operacional. Si bien en el *datasheet* se informa que la salida del sensor es lineal y no mayor a los 3V, se decidió utilizar un amplificador operacional en configuración de seguidor de voltaje para evitar que la impedancia del sensor, al ser conectado al microcontrolador, causara un error en la toma de datos. Se aprovecha de una de las características de los amplificadores operacionales, su baja impedancia al momento de acople con otro dispositivo. Tanto en el seguidor de voltaje como en el regulador se siguieron los valores de capacitores sugeridos por el fabricante.

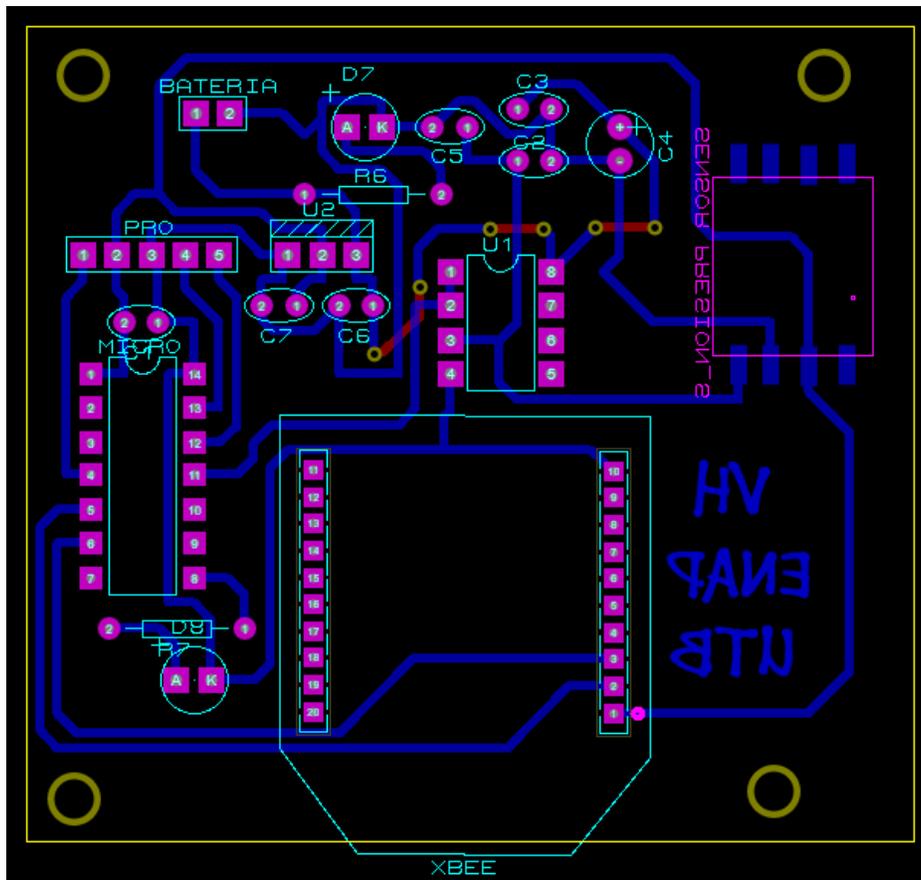
El diseño PCB de este prototipo se puede observar en la imagen **4-40**. La peculiaridad de este diseño ante los anterior radicó en que el sensor utilizado



**Figura 4-39:** Diseño esquemático de circuito: Sensor de presión MP3V5004DP.

está diseñado para montaje superficial. Proteus no contaba con el paquete del sensor por lo que se debió revisar las dimensiones proporcionadas por el *datasheet* [49]. Las dimensiones de la PCB fueron de 6.7cm x 6.1cm. En tamaño guarda similitud con el primer diseño, se elaboró lo mas compacto posible y con el menor numero de puentes, debido a que circuito es monocapa. Tal cual con los diseños anteriores, se le agregó las iniciales de quienes desarrollan la tesis así como las siglas de las instituciones involucradas, además de agujeros para sujeción.

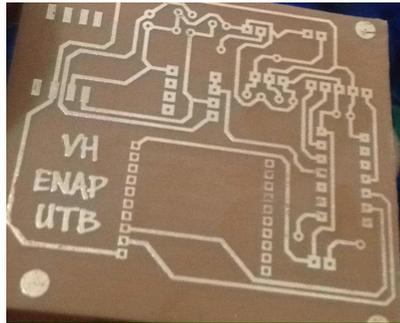
Con el diseño terminado, solo restaba hacer las pruebas y verificar que no existiera ningún error. Como se ha venido haciendo, las pruebas inicialmente



**Figura 4-40:** Diseño PCB de circuito: Sensor de presión MP3V5004DP.

se realizan como el programa *Hercules*. Estos nos permite verificar que todo esté funcionando correctamente sin necesidad de tener el software donde se graficarán y registrarán los datos.

Se observó que en las pruebas, a presión ambiente, presión atmosférica, el sensor arrojaba un valor de 125.2mm. Valor que es ajustado por software para que se compense y que el valor que final que es enviado hacia el computador sea el adecuado. Posterior a estos se tenía oscilaciones pero por estar estos valores en el rango de los milímetros no es algo significativo.



(a)



(b)

**Figura 4-41:** (a) Diseño PCB de circuito: Sensor MP3V5004DP en físico. b)Diseño PCB de circuito: Sensor de presión MP3V5004DP en Montaje.

El prototipo no podía quedar expuesto a la intemperie por lo que se adaptó a una caja como se muestra en la figura 4-42a y en la figura 4-42b. Se le hicieron orificios a la caja por donde salía la manguera para medir la presión y para la entrada de la alimentación

El código que se utilizó para hacer la toma del cambio de nivel de agua sigue la lógica del algoritmo 3 del Anexo. El código se aleja un poco de los anteriores debido a que este no procesa los datos a partir del Timer1, como se vio en los anteriores. Esto radica en que la señal leída es una señal analógica, por lo tanto debe ser diferente a las tratadas en el diseño 1 y 2. EN el código se describe las variables globales que inicialmente se declaran. En el primer paso se declaran dos funciones, la función *main* y la función *floattostr*, la segunda función se hace necesaria integrarla al código al percibir errores utilizando la función para convertir un dato tipo float a string que posee el compilador. Dentro de la función *main*, se declaran inicialmente las configuraciones básicas del microcontrolador según se vaya a utilizarlo. como buena practica de programación, se declaran todos los puertos digitales igualando el registro *ANSEL* a cero. luego se define el pin específico que se va a utilizar para hacer la lectura analógica, que en este caso corresponde al pin 2



(a)

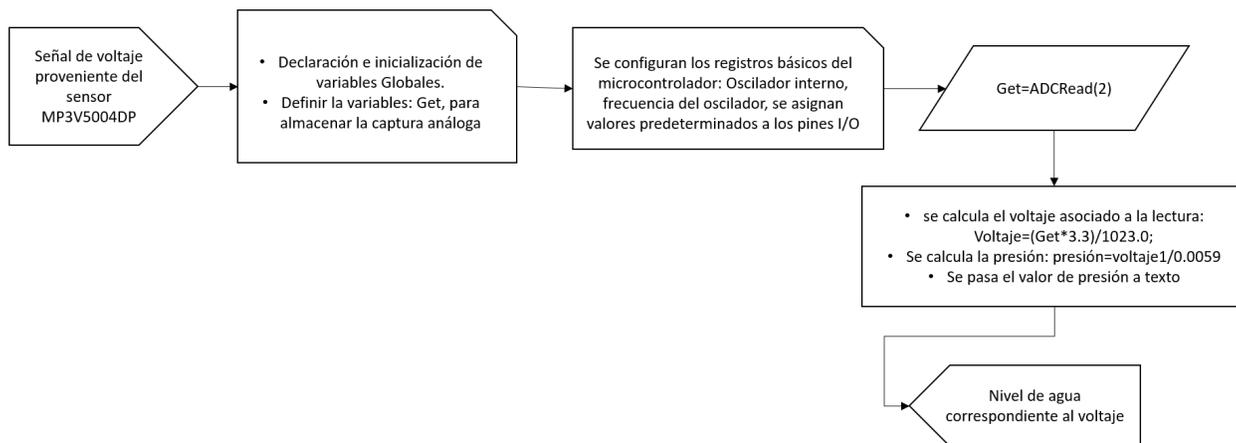


(b)

**Figura 4-42:** (a) Prototipo final: Sensor MP3V5004DP .  
(b) Conexiones internas.

del puerto A. A parte de declararse como analógico, se iguala el registro *trisa.b2* para declararlo como una entrada. Se configura el oscilador interno y la velocidad a la cual trabajará el microcontrolador con el registro *OSCCON*, se selecciona la velocidad máxima del microcontrolador: 8MHz. Por ultimo, antes de entrar al *While* infinito, se configuran los pines de comunicación UART y la velocidad de baudios a utilizar, 38400. Dentro de *while* asigna el valor que de la lectura analógica a la variable *Get*, El Voltaje es calculado al multiplicar  $(Get * 3.3) / 1024$ , donde 3.3 es la alimentación del micro y 1024 la resolución de 10 bit que posee el microcontrolador para hacer las lecturas analógicas y convertirlas en valores digitales. La sensibilidad del sensor es de  $5,9mV/mmH_2O$  por lo que el voltaje se divide entre los 5,9mV y se obtiene los milímetros de columna de agua deseados según la presión sensada. En pruebas previas se observo que a presión ambiente el sensor arrojaba una columna de agua de 125.2, por lo que se compensó este valor por software para que fuese cero. el valor del nivel de agua se convertiría en texto para que pueda ser enviado vía UART, esot se llev a cabo grcias a la función *floattostr*.

Luego de tener el dato en modo texto se envía vía UART y se hace llegar al computador.



**Figura 4-43:** Diagrama de lógica empleada en el algoritmo 3 del Anexo

Está demás mencionar que no se tuvo problemas con el diseño. Se hicieron unas pruebas preliminares a modo de calibración y posteriormente se compensaron los valores por software para que el valor de nivel que enviara el sensor correspondiera al real. Los valores eran corroborados haciendo uso de una regla.

### 4.3. Diseño del programa de toma de datos

Como se mencionó en anteriormente, el programa para la obtención de los datos provenientes de los prototipos vía inalámbrica se diseñó en el entorno de desarrollo de Labview debido a que cuenta con potentes herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales e interfaces de comunicación por puerto serie, paralelo, USB, etc. Este entorno de programación tiene su distintivo debido a que el diseñador no estructura su programa a partir de código, sino que lo hace mediante lenguaje G (Lenguaje gráfico) por lo que facilita mucho el desarrollo del programa, sin dejar de ser una herramienta poderosa.



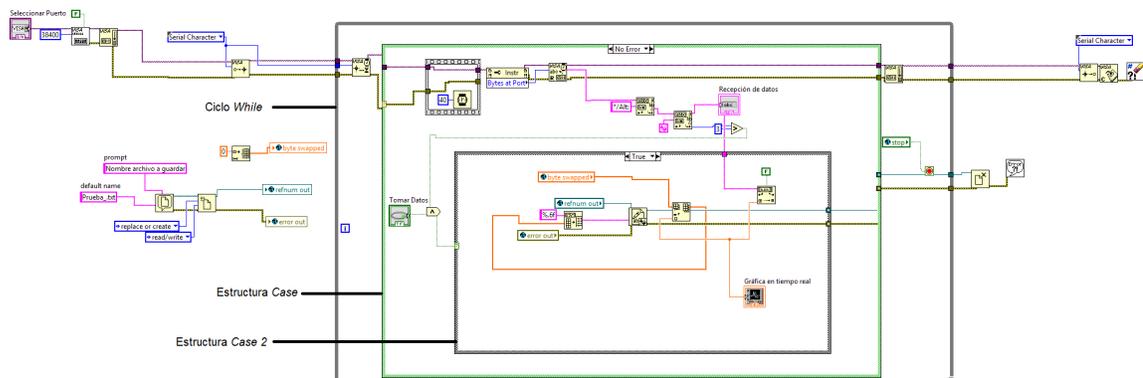
**Figura 4-44:** Diagrama de lógica empleada la programación a bloques del programa realizado en labview

El programa cuenta con dos partes, por un lado, se encuentra el diagrama de bloques en donde se seleccionan las herramientas, se configuran y se interconectan de tal modo que el resultado final de los elementos que se utilicen

satisfagan la tarea que se requiere. La parte principal del código a bloques se muestra en la figura 4-45. En la parte izquierda del diagrama de bloques se tiene toda la configuración inicial para hacer uso de una API ( Application Programming Interface, interfaz de programación de aplicaciones) de alto nivel: VISA; utilizada para comunicarse con buses de instrumentación. Los parámetros configurados de mayor relevancia son la velocidad de baudios que fue de 38400 y la espera de una trama serial para habilitar el programa. Se configuró el programa de tal forma que cada vez que se ejecutara se generara un archivo con la extensión "tx" con el nombre por defecto de "Prueba" , la configuración de estas instrucciones se observa en la parte izquierda de la imagen (4-45), fuera del ciclo while (demarcación en gris). Luego que la información serial llega al puerto COM, enlazado con el programa, se habilita la ejecución del mismo, se ingresa al ciclo while y se ejecuta la parte principal del programa dentro de la estructura "case" (demarcación verde). Dentro, el programa espera 40 milisegundos, tiempo suficiente para capturar al menos 2 datos provenientes del micro controlador, dichos datos son tramas seriales de la siguiente forma: "/Alt:'valor calculado por el microcontrolador'"; ejemplo: "\*/Alt:145".

El programa descompone la trama serial extrayendo únicamente los caracteres correspondientes al valor que posteriormente se convertirán de "string" (cadena de texto) a tipo "float" (de coma flotante) para poder trabajar con ellos como números. Se tiene ingreso a la estructura de case 2 cuando se garantiza que por lo menos se tiene que el valor obtenido de la trama serial 3 caracteres y que se encuentre presionado en botón "toma de datos". Este último case es donde se gráfica y se guardan en el documento los datos recibidos por lo que el botón "Toma de datos" es el que indica cuando se empezará a tomar las mediciones. Se planteó de esta forma para evitar cualquier error al momento de tomar los datos, evitar que se perdieran datos en la parte inicial de las tomas. Cuando se concluyen las tomas, se detendrá el programa y se cerrará el archivo creado con los datos.

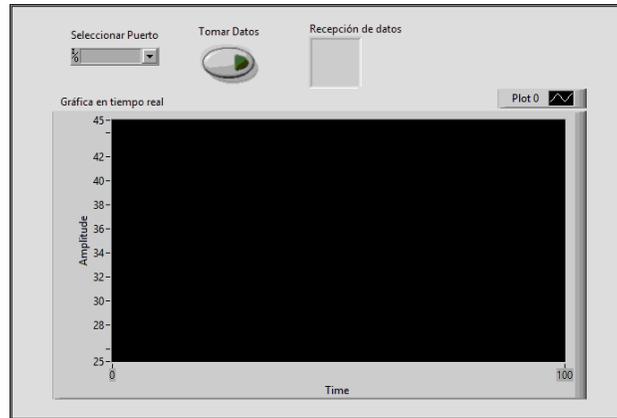
La figura 4-46 muestra cómo se diseñó el panel frontal que será la interfaz con la que el usuario va a interactuar, dejando de lado las configuraciones y



**Figura 4-45:** Lógica a bloques del programa para la toma de datos

demás cosas del diagrama de bloque. Se mencionó que en computador donde se quiera hacer el control de los datos debe estar conectada la Xbee receptora de la información, dicha Xbee se encuentra conectada a un adaptador serial – USB por lo que en el computador donde se conecte se creará un puerto COM de conexión, puerto que se debe identificar para que al momento de ejecutar el programa sea el que se elija en “Seleccionar puerto”. Se ejecuta el programa, inmediatamente se abre un cuadro de dialogo en el que se nos pide el nombre del archivo que alojará los datos que se obtengan. Se hace selección del puerto adecuado y, cuando está todo listo, se presiona el botón “Tomar datos”. La grafica empezará a mostrar los datos al mismo tiempo que se irán guardando en el documento “.txt”.

Transcurrido el tiempo de muestra deseado se vuelve a presionar el botón ”Tomar datos” para pausar el muestreo y posteriormente se detiene el programa pulsando el botón de ”Stop”. Esto se repite las veces que sea necesario, tantas pruebas y archivos se deseen generar.



**Figura 4-46:** Programa para la toma de datos

## 4.4. Manejo del sistema

Se debe tener en cuenta diferentes puntos al momento de llevar a cabo una toma de datos en este proyecto, por una parte se encuentra el funcionamiento del prototipo y todo lo que conlleva y por el otro se encuentra el sistema para generar las olas y tracción del carro que es completamente independiente y no intervenible.

Inicialmente se debe decir cual de los dos prototipos se utilizará para tomar las muestras, sí el basado en el sensor ultrasónico o el de presión. Esto, teniendo en cuenta que cada uno arroja valores distintos de medición. Mientras que el sensor de presión arroja los valores en milímetros, teniendo como referencia una profundidad inicial de 18cm(180mm); el sensor ultrasónico arroja los valores en cm y cuya distancia arrojada es la que existe entre el lugar ubicado hasta la altura del agua que sería,estando en reposo, 1,2m. Los valores arrojados por el sensor ultrasónico están alrededor de los 30cm. Teniendo esto claro, se define el punto en el cual se harán las mediciones y se procede a instalar los sensores. Se decidieron dos puntos de análisis, a un 1/4 de la distancia del canal y a 3/4 de la distancia máxima del canal,

siendo el punto de referencia el generador de olas. Se deben hacer unas calibraciones respectivas para corroborar que los sensores estén arrojando las distancias adecuadas, para el caso del sensor ultrasónico de hizo uso de un metro mientras que para el sensor de presión se observaba el metro que se encontraba en el soporte por donde bajaba la manguera. decidido e instalado el sensor en el punto deseado, se seleccionaba la potencia con la que iba actuar el motor: 20 % y 40 % de la potencia máxima del motor; que corresponden a hacer la corrida del generador de olas con un valor de 0.2 y 0.4, respectivamente. El ultimo detalle, y no el menos importante, radica en el absorbedor que olas con el que, como se comentó con anterioridad, el canal no contaba. las pruebas se realizaron antes de instalar y después de instalar un absorbedor que correspondía a las medidas proporcionadas por quienes diseñaron el canal [1].

Aclarado los puntos que se deben tener en cuenta para hacer las tomas, se muestran los pasos necesario seguir para realizarlas:

1. Se hace la instalación del prototipo en el lugar deseado a hacer las mediciones y se le proporciona alimentación para su funcionamiento.
2. Calibrar los sensores y verificar que los sensores arrojen los datos de forma correcta, tanto para el ultrasónico como para el sensor de presión. Se hace uso de una regla o un metro para tal función.
3. Se conecta el adaptador serial-USB de la Xbee de recepción en el computador donde se ejecutará el programa para el muestreo de los datos.
4. Se verifica en que puerto COM se ha establecido la conexión de la Xbee con el computador.
5. Se enciende el computador donde se ejecuta el programa para el generador de olas.

6. Se conecta el sistema de control de del sistema de tracción de carro y generador de olas (que es el mismo) al tomacorriente y al puerto USB donde está el programa del generador de olas 4-4.
7. Se activa la cuña correspondiente al driver de velocidad del generador de olas.
8. Se ejecuta el programa interpretación de datos, así como el del generador de olas dando click sobre el botón “Run”.
9. Se sincroniza el operario del generador con el que se encarga de tomar los datos de los sensores para que la toma de datos inicie al mismo tiempo que se activa e generador con la velocidad deseada.
10. En el programa para la obtención del cambio de altura del agua, se da en guardar el archivo que se genera por defecto con el nombre correspondiente al tipo de sensor, el punto seleccionado y demás.
11. Pasado el tiempo de prueba, se vuelve a presionar el botón de “toma de datos” para pausar y luego se le da “stop” tanto al programa de toma de datos como al del generador

## 4.5. Absorbedor de olas

Para la implementación del Absorbedor de olas se tuvo en cuenta el que estaba planteado en la Tesis de la creación del canal de prueba presente en la Escuela Naval [1]



**Figura 4-47:** Sistema de Amortiguacion de Olas.

Estas son imagenes de como fue el proceso de construccion del Absorbedor e implementacion en el canal de prueba.



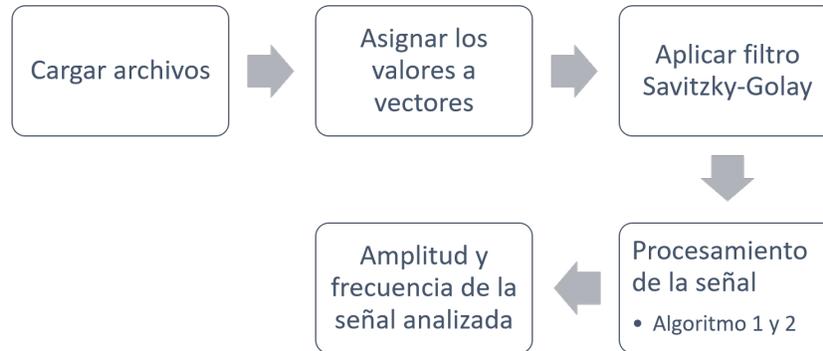
**Figura 4-48:** Proceso de Construcción e implementación del absorbedor de olas

## 4.6. Procesamiento de Datos

Al momento de llevarse a cabo las pruebas, se observaba en la programa para el muestreo y registro de datos el comportamiento que experimentaba en agua en los punto seleccionados, a lo largo del tiempo. Estos valores se almacenaban en un documento ".txt" por cada prueba realizada. La gráfica en tiempo real que se observaba en el programa nos ayudaba a identificar si las mediciones se estaban tomando correctamente; si existía un retardo en el muestreo de los sensores, una velocidad de envío de datos no apropiada por parte del sensor o una mala sensibilidad en los datos pertinentes al cambio de nivel en los puntos estudiados. Las gráficas que se obtuvieron eran continuas a lo largo del tiempo y el comportamiento que se registraba en la gráfica de tiempo real era muy parecido al que se podía percibir al observar las olas.

Luego de realizar todas las 32 pruebas se procedió a realizar el procesamiento de los datos. Inicialmente se desarrolló un código con las herramientas de software matemático *Matlab* que permitiera visualizar todos los datos obtenidos a lo largo del tiempo cuya lógica se expresa en el Código 4 del Anexo. La señal resultante era un conjunto de datos tomados a lo largo de un minuto, teniendo en cuenta que los datos eran tomados cada 40 milisegundos, cada archivo contaba con una cantidad de datos al rededor de 1500. En dicho código se cercioro de que los datos que anteriormente mente se guardaron, se hicieron a cabo con éxito y que además posean un comportamiento oscilante, como es de esperarse.

Con los cálculos del algoritmo 5 del Anexo y la señal promedio del primer tramo, se procede a ejecutar el segundo algoritmo 6 del Anexo. La función "pulseperiod()" retorna un vector que contiene la diferencia entre el nivel instantáneo de referencia media de la transición inicial de cada pulso de polaridad positiva y el próximo siclo positivo de transición de la onda de doble nivel [54]. Teniendo en cuenta que son ondas no periódicas, la función



**Figura 4-49:** Diagrama de lógica empleada en el algoritmo 5, algoritmo 6, algoritmo 7 del Anexo

”pulseperiod()” retorna un valor con distintos períodos encontrados sobre la función aplicada, para este caso el primer tramo de la señal promedio. Se calcula un período promedio y teniendo en cuenta que cada dato obtenido se hizo con un lapso de 40 milisegundos, se calcula la frecuencia media de la señal. La emplitud es calculada con la función ”statelevels()” que usa el método de histograma para determinar el mas bajo y alto nivel de una onda de doble nivel [55]. Con estos dos valores puedo determinar la amplitud restando el el mayor nivel menos el menor. Tal como se explica en el código 6 del Anexo.

El algoritmo 7 del Anexo realiza un análisis similar al algoritmo 6 del Anexo usando otras herramientas para el procesamiento de señales. Inicialmente se obtiene la señal promedio de las dos señales previamente filtradas y alineadas correspondientes al mismo evento. El programa busca los primeros 6 picos de la señal resultante, con la ubicación y valor de los primeros 6 picos identificados de la señales, procede a hacer los cálculos respectivos de de la frecuencia y amplitud promedio presente en la señal, para eso hace el uso de tres funciones: ”findpeaks()” el cual regresa un vector con los picos locales máximo de la señal de entrada y la ubicación de los mismo y ”midcross()” que previamente se definió su función. Conociendo el periodo, se calcularía

la frecuencia de la misma forma que se hizo en el algoritmo 6 del Anexo, teniendo en cuenta el tiempo de funcionamiento de la señal que son 40ms.

## 4.7. Diseño de experimentos

Con Absorbedor				Sensor Ultrasónico
Punto 1	Punto 2	Total		
Velocidad 20%	2	2	4	
Velocidad 40%	2	2	4	
Sin Absorbedor				
Punto 1	Punto 2	Total		
Velocidad 20%	2	2	4	
Velocidad 40%	2	2	4	
Con Absorbedor				Sensor de Presión
Punto 1	Punto 2	Total		
Velocidad 20%	2	2	4	
Velocidad 40%	2	2	4	
Sin Absorbedor				
Punto 1	Punto 2	Total		
Velocidad 20%	2	2	4	
Velocidad 40%	2	2	4	
Total			32	

**Figura 4-50:** Diseño de experimentos.

Para la toma de los datos se tuvieron en cuenta dos condiciones principales: Sin absorbedor de olas y con absorbedor de olas. El canal de pruebas no contaba con un absorbedor al momento de estudiar las condiciones en las que se encontraba, sin embargo, la tesis que supone la creación del canal respaldaba el hecho de que se había diseñado e instalado uno. Las averiguaciones dieron como hecho evidente que pasado el tiempo el absorbedor sufrió un desgaste tal que los operarios del laboratorio, donde actualmente radica el canal de pruebas, se vieron obligados a removerlo. El absorbedor fue construido a base de madera por lo que su deterioro fue más que evidente. Esto nos suponía una variante más a las pruebas, pues se sabía que la presencia de una absorbedor de olas es completamente necesaria para las pruebas de

seakeeping [12] y se consideró observar los cambios que se podían experimentar en las olas antes y después de instalar el tan necesario dispositivo, así como el determinar para ambas condiciones las características principales de las olas experimentadas según los puntos y velocidades seleccionadas.

Se interesó en dos puntos de contraste del canal de pruebas, un punto muy cercano al lugar de nacimiento de las olas y otro cercano al lugar donde se suponía debían disiparse. Estos puntos fueron a  $1/4$  y  $3/4$  del canal de pruebas (véase Figura 4-51), teniendo como referencia el generador de olas. Además, se tomaron como velocidades de interés aquellas que representaban el 20% y 40% de las RMPs máximas del motor, que en el programa de control de tracción de carro y generar de olas (véase Figura 4-4) corresponde a un valor de 0.2 y 0.4, respectivamente. Dichas velocidades fueron tomadas teniendo en cuenta las dimensiones del canal, debido a que entre más energía posea la ola, más eficiente debe ser el absorbedor, así como cumplir las dimensiones mínimas sugeridas por ITTC [13]. Por lo que se consideró prudente trabajar con estos dos valores viendo que el oleaje que se obtenía no era uno que se pudiera considerar exagerado.



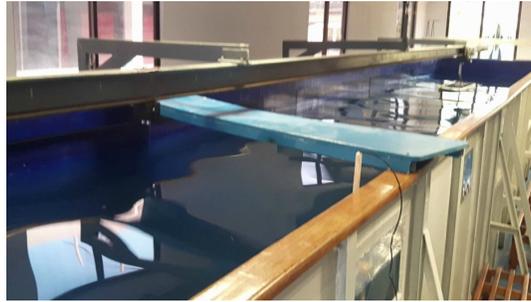
**Figura 4-51:** Ilustración de los puntos del canal analizados.

La cantidad de pruebas a realizar era proporcional a la cantidad de variantes que se quisieran realizar. Sumado a las condiciones del absorbedor

de olas, los puntos de interés y las velocidades a estudiar, se contaba las condiciones que suponían la cantidad de prototipos seleccionados para llevar a cabo el muestreo de las olas producidas por el generador. De antemano se comentó que de los tres dispositivos que inicialmente se estudiaron para realizar la tarea, dos de ellos fueron seleccionados, el sensor ultrasónico *HC-SR04* y el sensor de presión MP3V5004DP, dejando por fuera al presostato de lavadora el cual presento problemas debido a su baja sensibilidad.

Sujetados a estas variables, el número de pruebas a realizar sería  $2^4$  multiplicado por la cantidad de tomas que se harían por cada punto. Se creyó conveniente que cada situación fuera registrada 2 veces por lo que las pruebas totales a realizar serían de 32.

Cada sensor suponía una instalación diferente, mientras que el prototipo del sensor ultrasónico se adaptaba a una de las vigas del canal (dependiendo si estaba a  $1/4$  o a  $3/4$  del canal), el sensor de presión, gracias a un soporte elaborado para que el dispositivo diseñado quedara fuera del agua y permitiera que la manguera, por la que se obtenía la presión a calcular, fuera sumergida a unos 18cm por debajo del nivel del agua (véase Figura 4-52c) Mientras que el sensor ultrasónico era autónomo por poseer una alimentación a base de batería, el prototipo del sensor de presión debía estar alimentado con adaptador de 110AC - 5v DC. (Véase Figura 4-52b)



(a)



(b)



(c)

**Figura 4-52:** Pruebas Realizadas-Sensor Presión -Sensor Ultrasonico.  
a Sensor de Presión y Ultrasonico Tomando medidas en el mismo punto.  
b Sensor Ultrasonico Ubicado en el Punto 1.  
c Sensor de Presión Ubicado en el Punto 1.

## RESULTADOS

Al momento de llevarse a cabo las pruebas, se observaba en la programa para el muestreo y registro de datos el comportamiento que experimentaba en agua en los punto seleccionados, a lo largo del tiempo. Estos valores se almacenaban en un documento ".txt" por cada prueba realizada. La gráfica en tiempo real que se observaba en el programa nos ayudaba a identificar si las mediciones se estaban tomando correctamente; si existía un retardo en el muestreo de los sensores, una velocidad de envío de datos no apropiada por parte del sensor o una mala sensibilidad en los datos pertinentes al cambio de nivel en los puntos estudiados. Las gráficas que se obtuvieron eran continuas a lo largo del tiempo y el comportamiento que se registraba en la gráfica de tiempo real era muy parecido al que se podía percibir al observar las olas.

Luego de realizar todas las 32 pruebas se procedió a realizar el procesamiento de los datos. Inicialmente se desarrolló un código con las herramientas de software matemático *Matlab* que permitiera visualizar todos los datos obtenidos a lo largo del tiempo cuya lógica se expresa en el Código 4 del anexo. La señal resultante era un conjunto de datos tomados a lo largo de un minuto, teniendo en cuenta que los datos eran tomados cada 40 milisegundos,

cada archivo contaba con una cantidad de datos al rededor de 1500. En dicho código se cercioro de que los datos que anteriormente mente se guardaron, se hicieron a cabo con éxito y que además posean un comportamiento oscilante, como es de esperarse.

Se hicieron uso de tres códigos para un análisis general de la información registrada. Un primer código consistía en mostrar el par de señales que se tomaron por cada situación en una misma gráfica, tratarlas con filtros para que obtener señales más suavizadas y mostrar los contrastes antes y después de los filtros, además de alinear las señales. el segundo y tercer código corresponden al análisis de estas señales. el segundo código utiliza funciones como "pulseperiod()" y "statelevels()" para obtener los periodos y amplitudes de las ondas no periódicas que se observaban. Mientras que el tercer código encuentra el valor y la ubicación de los picos de la señal, con esta información se calcula las frecuencias y amplitudes de las señales estudiadas.

En el primer código (Algoritmo 5), era evidente que, si bien las gráficas mostraban un comportamiento oscilante, no eran datos que se pudieran analizar libremente, sobre todo los datos obtenidos por el prototipo del sensor ultrasónico. Como se supuso desde un inicio, su baja sensibilidad hacía que el muestreo tuviera cambios abruptos y que fueran imposibles de analizar. El *toolbox* de procesamiento de imágenes de *Matlab* nos permitió trabajar con herramientas poderosas sobre los datos que se obtuvieron, uno de esas funciones fue la del filtro *Savitzky-Golay* que "Se basa en el cálculo de una regresión polinómicas local (de grado  $k$ ), con al menos  $k+1$  puntos equiespaciados, para determinar el nuevo valor de cada punto. El resultado será una función similar a los datos de entrada, pero suavizada" [53]. Experimentalmente se obtuvo que los valores para los cuales el filtro daba una mejor representación de la señal ideal era para un polinomio de 3 orden con puntos equiespaciados a 41 unidades.

Las señales obtenidas después de aplicar el filtro eran mucho más suavizadas y no poseían picos por cambios abruptos como lo era el caso para los

datos tomados por el sensor ultrasónico. El problema que se presentaba era que las señales al ser superpuestas en una misma imagen no coincidían, en muchos casos, en el inicio de las mismas por lo que se hizo necesario, previo al análisis, un alineamiento de las señales. La no coincidencia de las señales al inicio era el resultado de la no sincronía que existía entre el operario que hacía la corrida del generador de olas y quien daba el click e inicio para la toma de datos. Para el alineamiento se utilizó la función *finddelay* que calculaba el retardo entre las dos señales y permitía que se compensara el atraso de una respecto a la otra.

Las señales obtenidas no coincidían del todo, mucho menos cuando se analizaban los datos de las pruebas sin absorbedor. Los datos más relevantes de las pruebas eran los que se ubicaban al inicio de la misma, se necesita un tiempo prudente para que una onda se estabilice, pero los datos eran rápidamente alterados por la refracción de la onda, en menor caso con las pruebas que hacían uso del absorbedor de olas, por lo que se consideró que el primer cuarto de los datos totales tomados eran los que se tendrían en cuenta. La perturbación se hizo evidente a lo largo de todas las pruebas, la amplitud de las ondas obtenidas en el primer cuarto eran mucho menores que las del último cuarto. Luego de alinear las señales, se dividían entre 4 y se trabajaba con el primer cuarto del par de señal.

## 5.1. Pruebas Sin Absorbedor

La primera mitad de los datos fueron tomados sin contar con un absorbedor de olas que disipara la energía del cuerpo de agua excitado por el flat del absorbedor que en este caso es de tipo Pistón con un movimiento horizontal que ocasiona el regreso de las olas (véase Figura 3-7): Se sabía de antemano que al no disiparse la ola por completo al final del recorrido, las olas siguientes estarían expuestas a una alteración por parte de la refracciones de las olas que llegan al final del canal, no se disipan y rebotan. Estas pruebas no determinan ningún resultado relevante por las condiciones no favorables que presenta el canal (no tener absorbedor y tener dimensiones por debajo de lo recomendado), solo se demuestra lo indispensable que es un absorbedor para las pruebas de seakeeping y la capacidad del código para la extracción de las características principales de las olas registradas.

### 5.1.1. Sensor Ultrasónico

Hecha la instalación y la calibración correspondiente, se tomaron los datos con el sensor ultrasónico. Los primeros valores a registrar serían los correspondientes al primer cuarto del canal (Punto 1) con las dos velocidades consideradas: 0.2 y 0.4

#### **Punto 1: Velocidad 0,2**

Así como es descrito en el código 5, la primera gráfica que se obtiene es la superposición de las dos señales originales. Se observa que son señales alternadas y continuas que inicialmente poseen una amplitud mucho menor

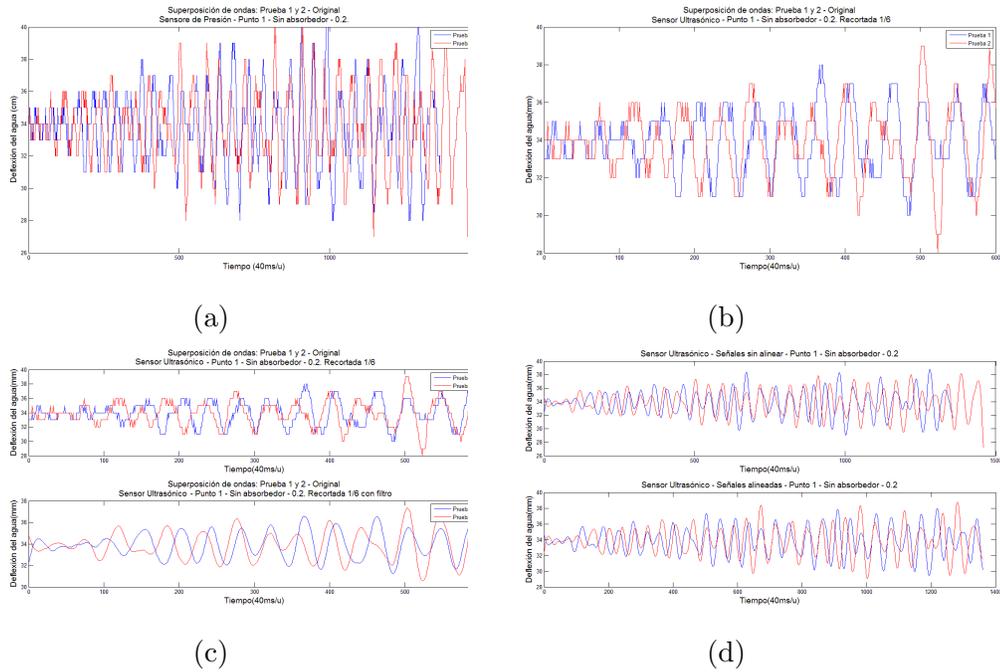
que al final de la toma de datos. La coincidencia se puede observar en la imagen **5-1a**, pero no resultan claras para realizar un análisis y de antemano se puede observar su no periodicidad. Se puede observar un poco más a detalle en la imagen **5-1b** donde se hace una muestra del primer cuarto de los datos totales tomados.

La señal se le aplica el filtro *Savitzky-Golay* de tercer orden y con un espaciado en los puntos de interés de 41 para suavizarla y poder facilitar la extracción de las características básicas que presenta la onda. El resultado del filtro se aprecia en la imagen **5-1c**, donde se observan los resultados antes y después de ser aplicado el filtro, un contraste que resalta la importancia del mismo. Las señales tienen un mismo comportamiento, como es de esperar al ser tomado los datos con las mismas condiciones en ambas pruebas, pero no existe una coincidencia entre la frecuencia de las señales, más allá de que se halla el “delay” (retardo) que existe entre ambas tomas. De ser señales idénticas, independiente al tiempo de inicio, puede existir una coincidencia notable entre su amplitud y período si se logra ajustar. Eso es lo que se intenta conseguir al encontrar el retarde, con este valor se recortan los tramos iniciales necesarios para que las señales tengan la mayor coincidencia posible. En esta primera prueba no se puede apreciar con claridad, pero en análisis siguientes se obtendrán mejores resultados al momento de superponer las ondas.

La figura **5-1d** muestra los desplazamientos realizados en las señales originales (Gráfica superior) para obtener un alineamiento que permita visualizar la semejanza que ambas señales poseen (Gráfica inferior). Se observa que los picos locales no se encuentran alineados a lo largo de la toma de datos, salvo en ciertos tramos donde deja entrever que existe una amplitud que se mantiene, pero variando en el período de las ondas. El tramo 1, correspondiente al primer tramo de la ola, es el que se decide analizar.

Teniendo claro que los resultados obtenidos solo son para mostrar la capacidad de los códigos, sobre todo en entras primeras muestras en las que

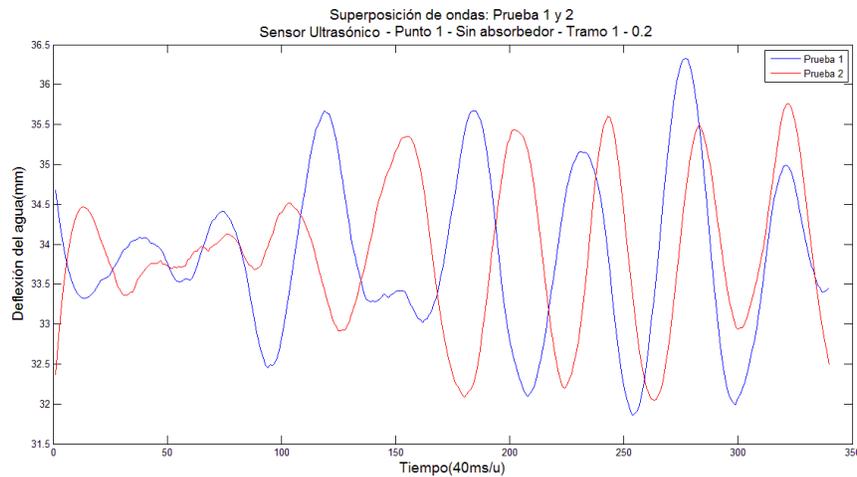
es claro que no amerita por la mala correspondencia de los datos debido a las perturbaciones por la refracción de las olas no absorbidas en el canal de prueba.



**Figura 5-1:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.

- a Señales originales superpuestas.
- b Señales originales superpuestas y recortadas a 1/4.
- c Señales antes y después de aplicar el filtro Savitzky-Golay.
- d Antes y después de aplicar el alineamiento.

El primer tramo de las señales, correspondiente a la figura 5-2, es el que se tuvo, y tendrá, en cuenta para realizar los análisis, específicamente los datos finales donde las amplitudes y períodos de las ondas suponen tener una mayor similitud. Inicialmente se promedian las dos señales alineadas, y se trabaja con la señal resultante. El análisis se realizará haciendo uso de los algoritmos 6 y 7, anteriormente explicados.

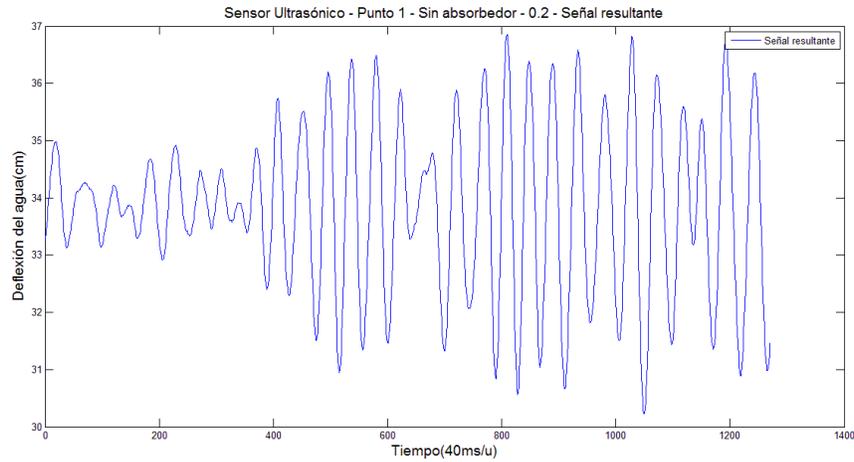


**Figura 5-2:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Primer tramo de señales superpuestas

La señal que se obtiene al promediar las señales filtradas y alineadas es la que se observa en la figura **5-3**. Es el resultado de tener en cuenta todos los datos de los registros tomados. En el tramo inicial, debido a que los picos de las dos señales promediadas se encontraban desalineados, se observa que no existe un perfil de onda definido, los datos distaban mucho como para dar como resultado una onda limpia, sin embargo, se observa tramos en los que se refleja la oscilación senoidal.

**Análisis de señal usando algoritmo6** la parte de interés luego de obtener el promedio de las señales de la imagen **5-2** se observa en la imagen **5-3**. No se tuvo en cuenta todo el tramo de la señal debido a que los primeros picos no poseían un perfil de onda oscilante, no poseían las características normales de una onda reflejada en el agua por lo que se consideró conveniente excluirlos del análisis.

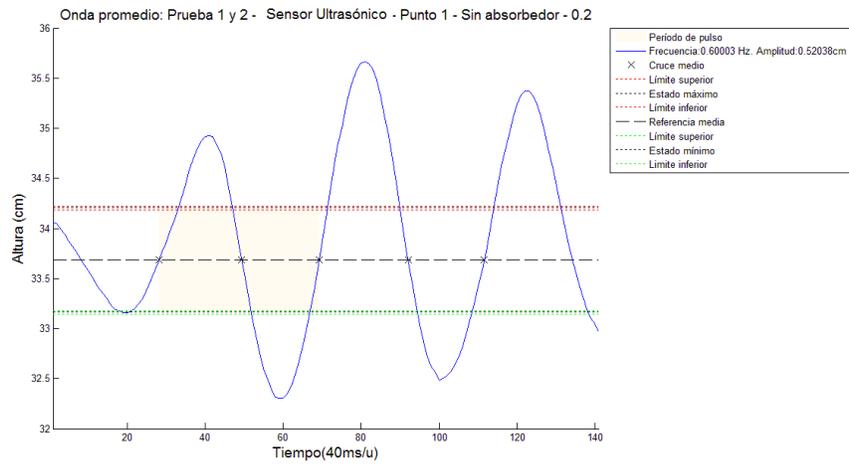
La fracción de interés se observa en la figura **5-4**, además de resaltar ciertas características de la onda como lo son la referencia media, la zona de



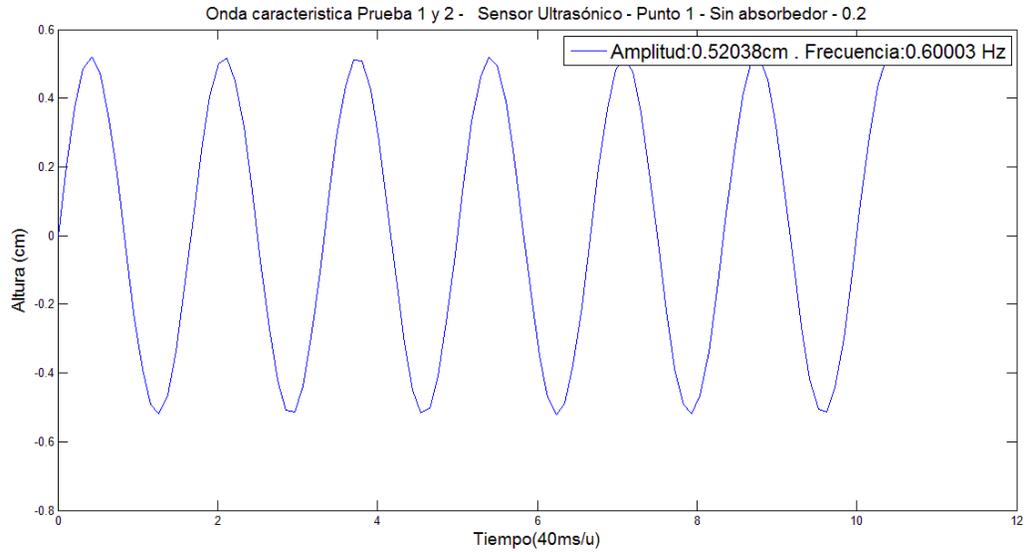
**Figura 5-3:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Señal promediada

período de pulso, los estados máximos y mínimos, la amplitud y frecuencia. Los niveles de estado, que son las líneas que se encuentran por encima y debajo de la referencia media, suponen la amplitud característica de la onda, pero se observa que los valores no corresponden del todo porque no alcanza a arropar los picos, salvo el primero, el más pequeño. Los valores de calculados con las herramientas de Matlab fueron de: 0.6 Hz para la frecuencia y 0.52038 cm de amplitud.

Según los valores obtenidos, la onda característica de del análisis del punto 1, sin absorbedor, con una velocidad de 0.2 y utilizando el prototipo del sensor ultrasónico es la ilustrada en la imagen **5-5**. Esta sería la onda ideal que caracterizaría las condiciones bajo las cuales se tomaron estos datos. Sin dejar de lado que los valores de amplitud calculado por la función "pulseperiod()" estaban, visiblemente, por debajo de la amplitud media registrada por los picos de la función en ese tramo.

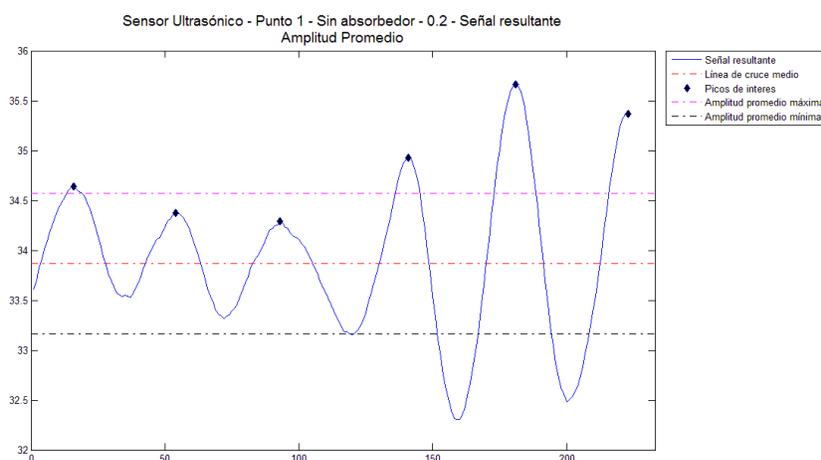


**Figura 5-4:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.  
Análisis de señal promediada- algoritmo 6



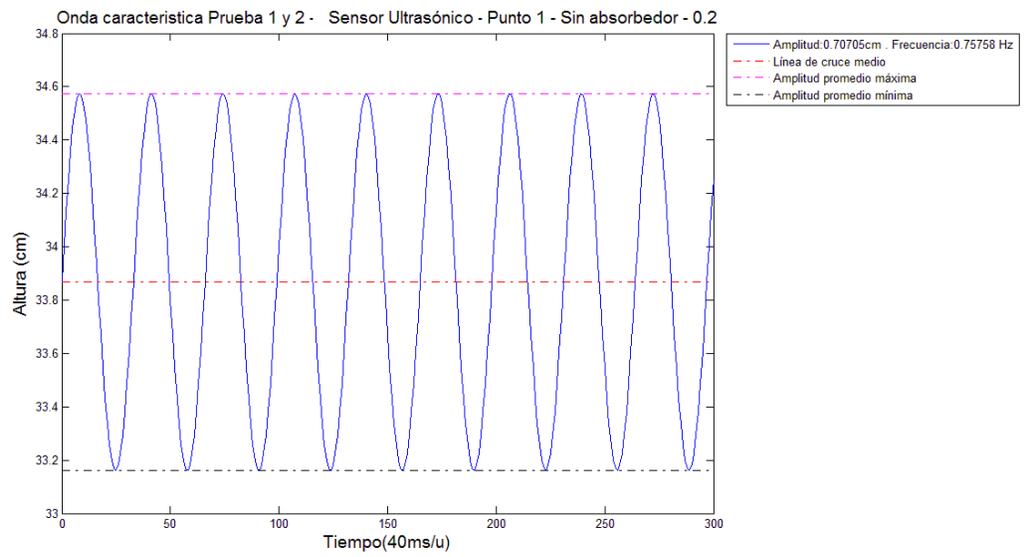
**Figura 5-5:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.  
Onda ideal - Algoritmo 6

**Análisis de señal usando algoritmo 7** El segundo análisis de las señales se realiza con la lógica del algoritmo 7, este algoritmo inicialmente encuentra los máximos locales presentes en la función, en donde selecciona los primeros 6. Ubica las posiciones y registra cada uno de los valores, con esta información se obtienen los datos de interés: frecuencia y amplitud de la onda. En la figura 5-6 se observa la línea media de referencia y los valores máximos y mínimos promedios tomado por la función.



**Figura 5-6:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6

A diferencia que con el análisis del algoritmo 6, en este se tiene en cuenta una mayor región de amplitud, con un valor de 0.707cm y con una frecuencia de 0.75 Hz. Valores que distan de los tomados anteriormente, teniendo en cuenta que son los mismos datos analizados.

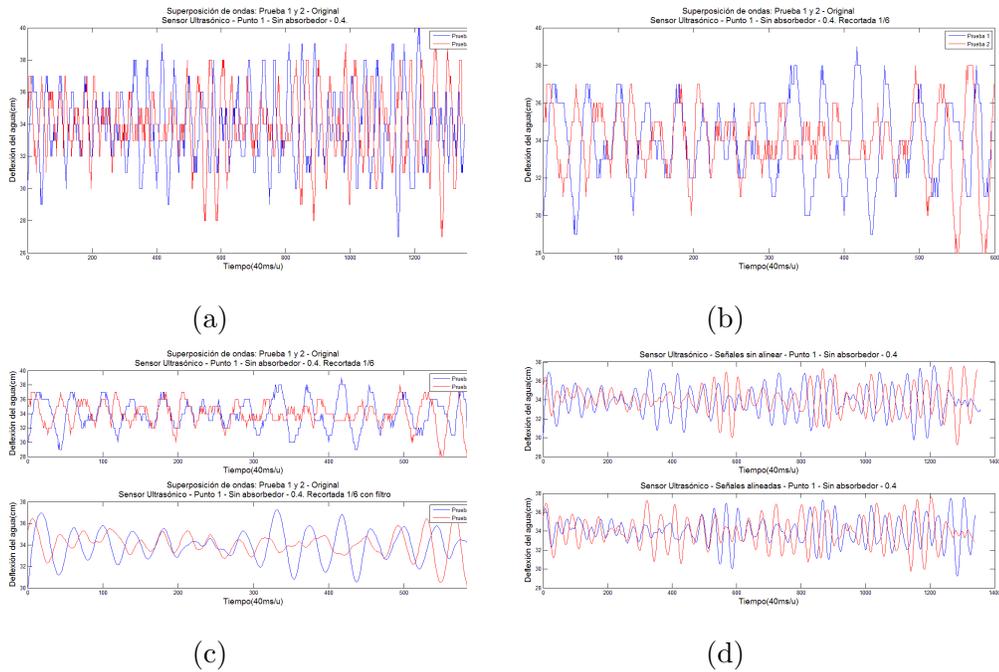


**Figura 5-7:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.  
Onda ideal - Algoritmo 6

**Punto 1: Velocidad 0,4** Trabajando con la una potencia de 40% en los RPMs del motor, que equivalen a colocar el valor de 0.4 en el panel de control del software del generador de olas, se tienen los siguientes resultados:

Como se observó en las imágenes con una velocidad en el panel de control de 0.2, se muestran las cuatro imágenes correspondientes a las señales originales superpuestas en la figura **5-8a**. Se observa más a detalle el primer cuarto de ambas señales en la figura **5-8b**, donde se observa con más claridad al par de señales y se deja entrever que los resultados, en comparación con los anteriores y pese a estar trabajando con distintas potencias, son menos uniformes, menos concordantes que los anteriores.

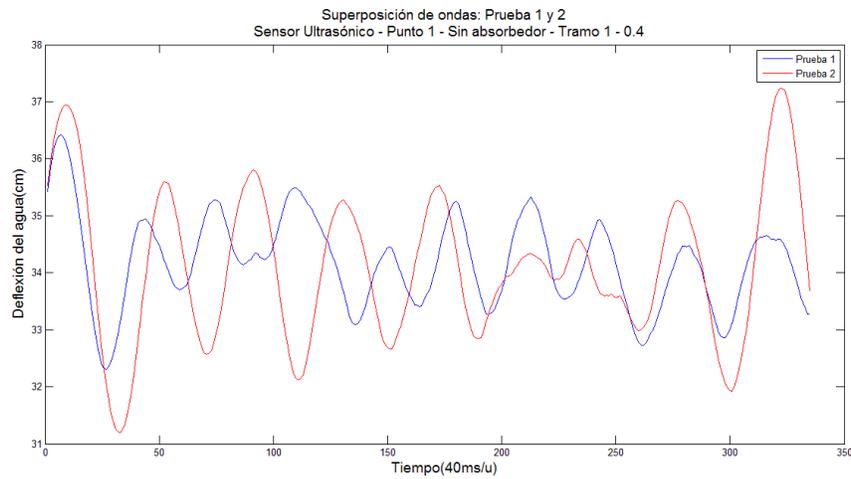
Las señales filtradas se pueden observar en la figura **5-8c**, la imagen inferior, donde se muestra en evidencia que las señales no comparten similitudes. Los picos y amplitudes distan entre las señales lo que deja a parte la veracidad con los datos encontrados, donde la señal analizada es el promedio de las dos señales alineadas. La alineación se observa en la figura **5-8d** donde no es perceptible del todo por tener tantas inconsistencias.



**Figura 5-8:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4.

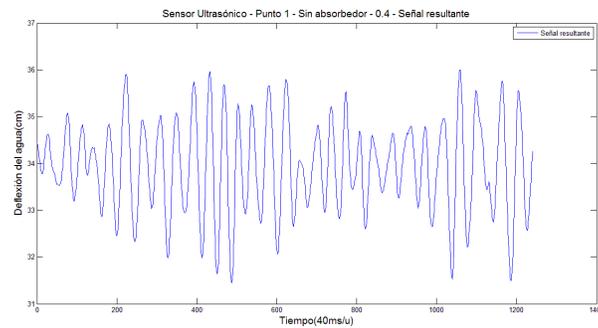
- a Señales originales superpuestas.
- b Señales originales superpuestas y recortadas a 1/4.
- c Señales antes y después de aplicar el filtro Savitzky-Golay.
- d Antes y después de aplicar el alineamiento.

Más allá de tener dos señales dispares, se siguió con el procedimiento y se llevaron a cabo los algoritmos. Nuevamente, y como será costumbre en las demás secciones, se tomó el tramo uno para ser analizado (figura 5-9). Las señales solo encajan al inicio del tramo, luego cada una recorre su camino. Se observa como existen alteraciones en las ondas generadas, como hay más de un máximo locales en una misma cresta. Este es el resultado de la interferencia de las ondas refractadas.



**Figura 5-9:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Primer tramo de señales superpuestas

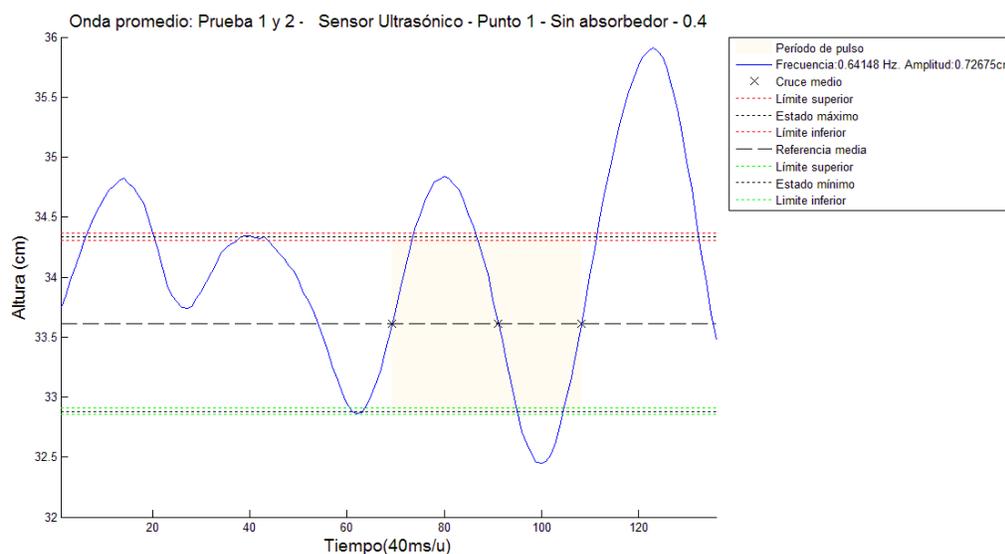
El resultado de promediar las imágenes alineadas se muestra en la figura 5-10, la onda que da como resultado, es una onda que no permite realizar un análisis adecuado debido a las interferencias de las olas no absorbidas que causan alteraciones en el comportamiento de las señales generadas.



**Figura 5-10:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Señal promediada

## Análisis de señal usando algoritmo 6

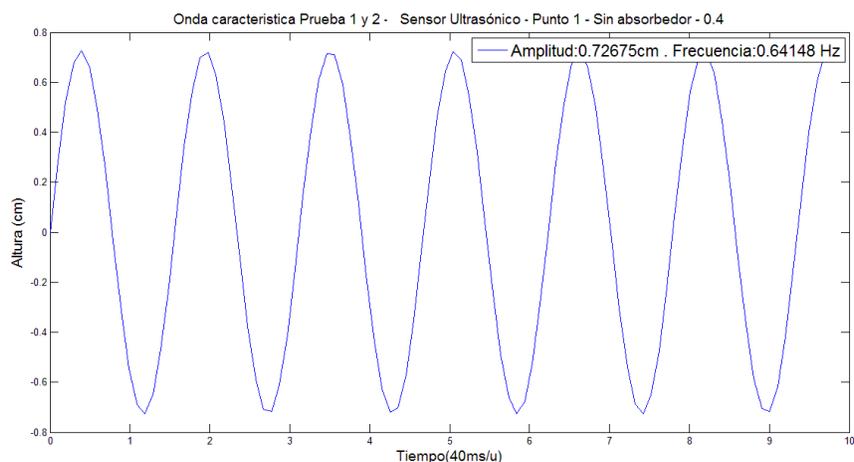
El tramo evaluado tiene amplitudes en la que el máximo local más pequeño es evidente mente menor que el máximo contiguo, muchas más de máximo local mayor (Ver figura 5-11). La función "pulseperiod()" hace su trabajo y evalúa el pulso de período, la región donde se considera se encuentra el período característico del tramo de onda seleccionado, así como las amplitudes relacionadas a la frecuencia. Inicialmente la señal tiene un comportamiento poco habitual, dejando en claro que el "flat" que genera las olas lo hace de forma continua, por lo que ese tipo de comportamientos no son comunes. Se puede suponer que los dos primeros picos corresponden a una que inicia el recorrido, mientras que el segundo pico es la perturbación de la onda que regresa al no ser absorbida.



**Figura 5-11:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Análisis de señal promediada- algoritmo 6

La Amplitud y frecuencia de la onda característica del tramo analizado

anteriormente se observa en la gráfica 5-12. La onda ideal del tramo poseería una frecuencia de 0.6414 Hz y una amplitud de 0.7267cm.

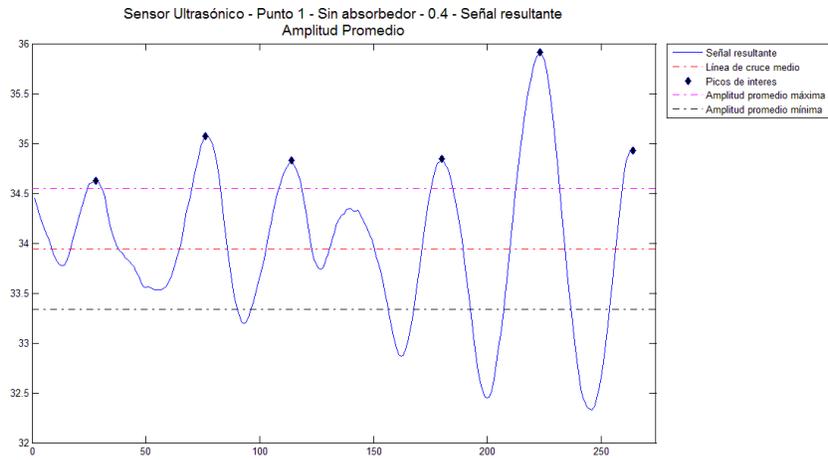


**Figura 5-12:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6

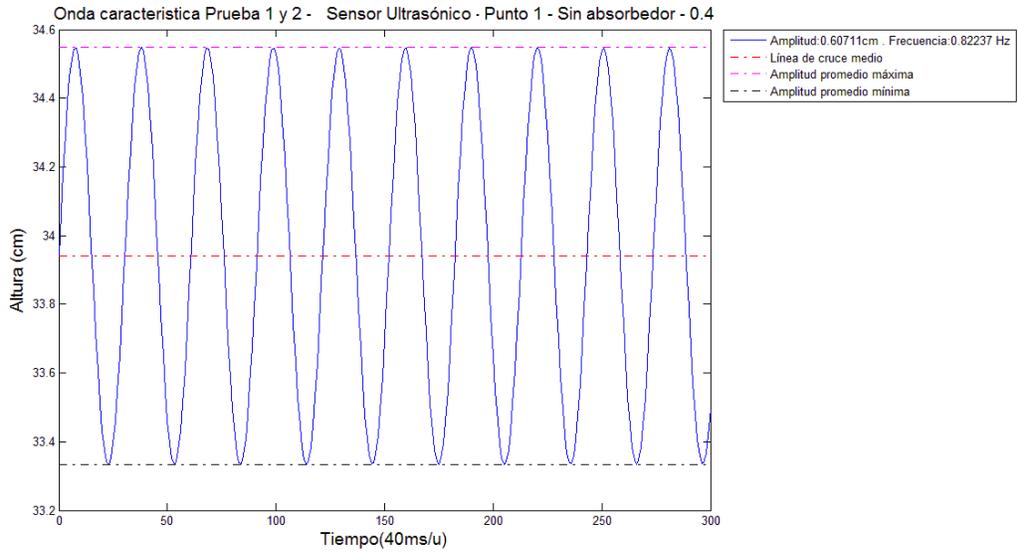
### Análisis de señal usando algoritmo 7

El algoritmo 7, como se mostró en la anterior análisis, más amplio en cuanto la amplitud debido a que utiliza la media de los máximos locales, así como la media para las frecuencias calculadas. Esto permite que los datos sean adaptados a una señal de una forma general y no lo ciñe a un criterios realizado por una función en concreto, cómo es el caso de la función "pulse-period()" utilizada en el algoritmo 6. Las características más significativas se resaltan en la figura 5-13

El resultado es una onda ideal con las características mostradas en la figura 5-14, la cual posee una frecuencia de 0.82 Hz y una amplitud de 0.6 cm.



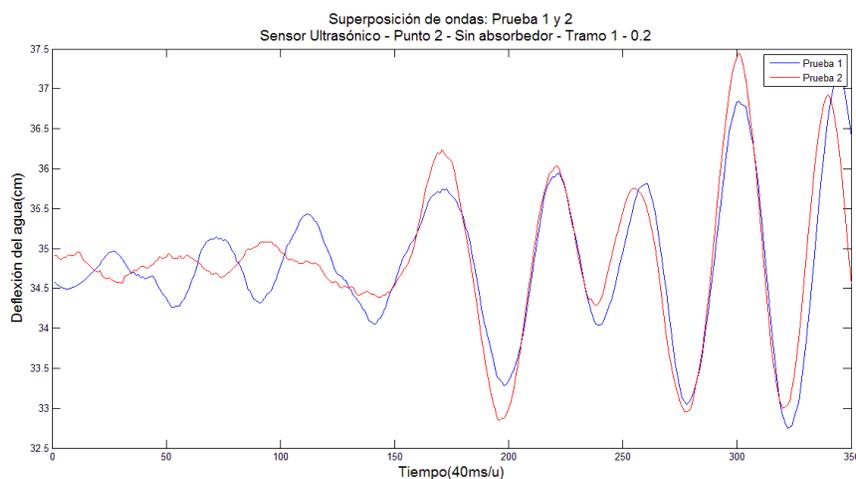
**Figura 5-13:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6



**Figura 5-14:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6

**Punto 2: Velocidad 0,2** Se creyó prudente que las imágenes correspondientes al algoritmo 5 eran redundantes en los futuros análisis a realizar, solo se consideró conveniente agregar las más relevantes, las que ayudaran a comprender la idea central del tratamiento de las señales, la extracción de sus características principales. Cabe aclarar que las gráficas que se observen ya habrán sido filtradas y alineadas.

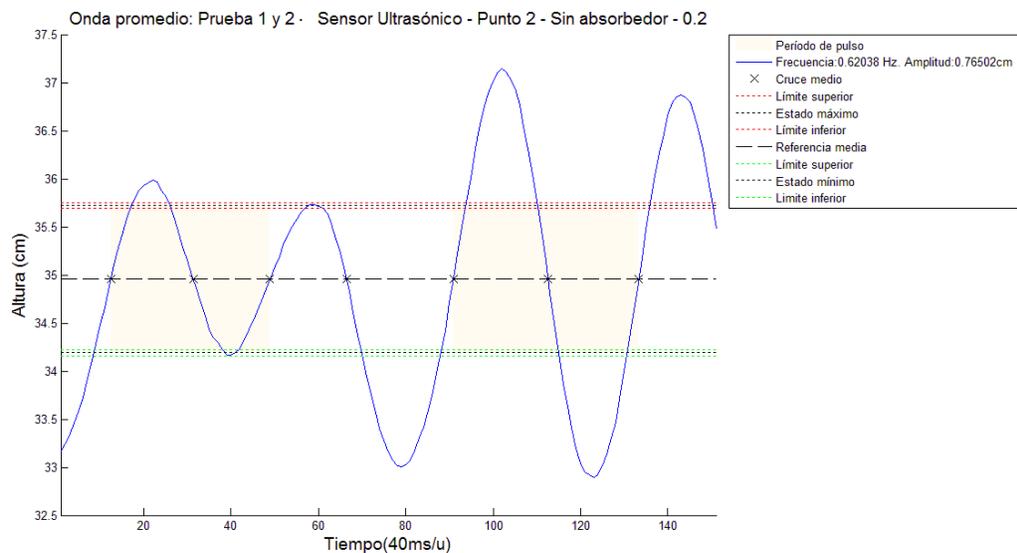
El tramo que se decide tomar para analizar, es el tramo 1 (figura 5-15), correspondiente al primer 1/4 de las señales. Se observa que las gráficas coinciden en gran manera, en gran medida, de la mitad de las tomas de interés en adelante. las amplitudes como frecuencia tienen una similitud que vale la pena resaltar, teniendo en cuenta que aún se trabaja sin absorbedor de olas y que el punto de estudio se encuentra ubicado a 1/4 de distancia de final del canal, es decir, a 3/4 de distancia del generador de olas.



**Figura 5-15:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Primer tramo de señales superpuestas

Teniendo en cuenta que los primeros picos de la señal eran muy pequeños en comparación a los de la segunda mitad, se decide obviarlos y trabajar sobre los últimos 4 picos de los primeros tramos. Como se puede observar, nuevamente la función "pulseperiod()" identifica donde se ubica las frecuencias características de la onda, en este caso mostrando dos zonas que coinciden con el mismo período. En lo que no acierta es en seleccionar siempre la menor amplitud de las ondas estudiadas como los estados máximos y mínimos adoptados por la onda, como se puede observar en la figura 5-16.

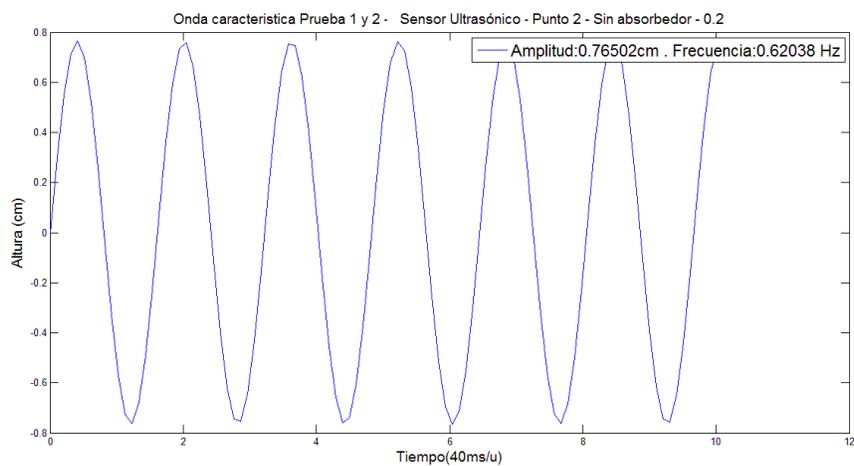
### Análisis de señal usando algoritmo 6



**Figura 5-16:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Análisis de señal promediada- algoritmo 6

Como resultado del análisis del algoritmo 6, se tiene la onda característica, correspondiente a estas condiciones, que representa la prueba. La frecuencia registrada es de 0.62038 Hz y una amplitud de 0.765 cm. Siendo este análisis,

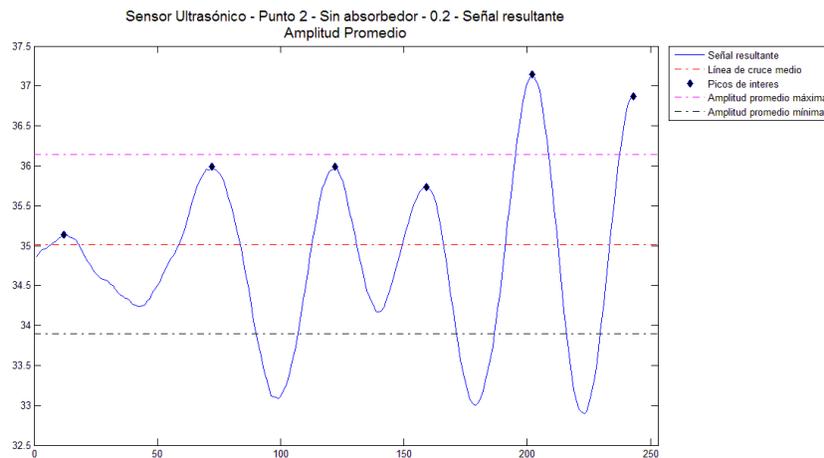
hasta el momento, en el que mejor han coincidido los datos. Se puede observar la figura 5-17 para observar el comportamiento correspondiente a los valores calculados.



**Figura 5-17:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6

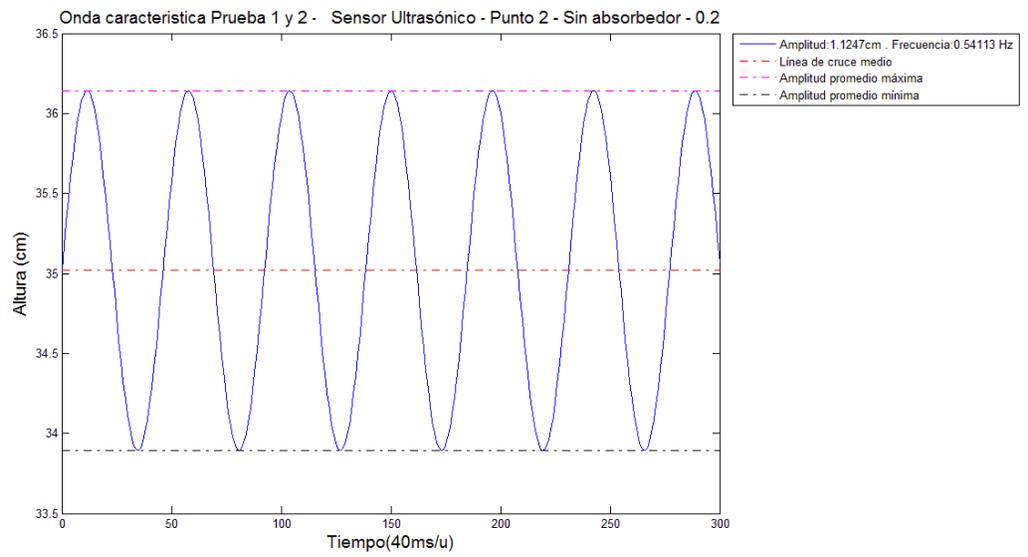
## Análisis de señal: algoritmo 7

el algoritmo 6 a diferencia del 7 tomo todos los picos del tramo 5 y con eso obtuvo los resultados de interés. Cómo se ha mantenido a lo largo de los análisis, se observa en la figura 5-18.



**Figura 5-18:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6

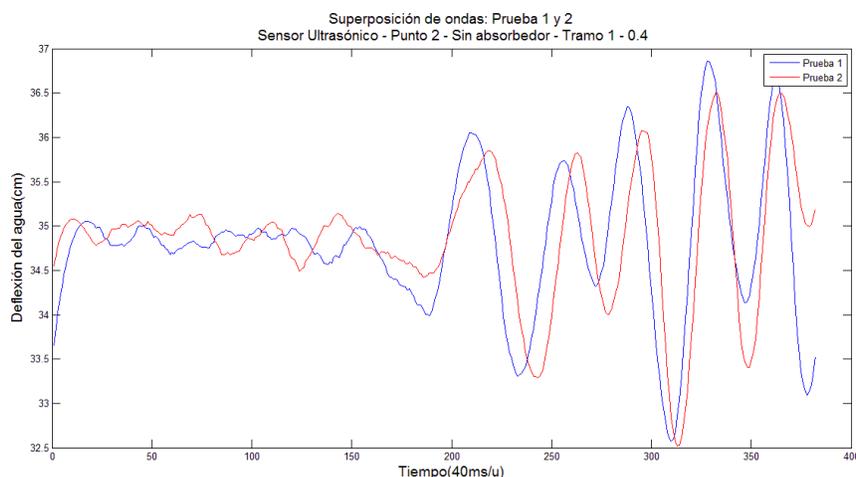
Las características básicas fueron extraídas del análisis anterior y dio como resultado una onda ideal como se muestran en la figura 5-19, con una frecuencia de 0.54 Hz y una amplitud de 1.12 cm.



**Figura 5-19:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2.  
Onda ideal - Algoritmo 6

**Punto 2: Velocidad 0,4** Al igual que los datos registrados en la prueba anterior, es resaltable como las señales, en términos generales, comparten el mismo comportamiento. Los valores iniciales que se obtienen son momentos previos al que sea generada como tal la ola. Los datos mostrados corresponden a las señales luego de ser filtrada y alineada, además de estar recortada a 1/4 del tamaño original. Los comportamientos de pueden observar en la figura 5-15.

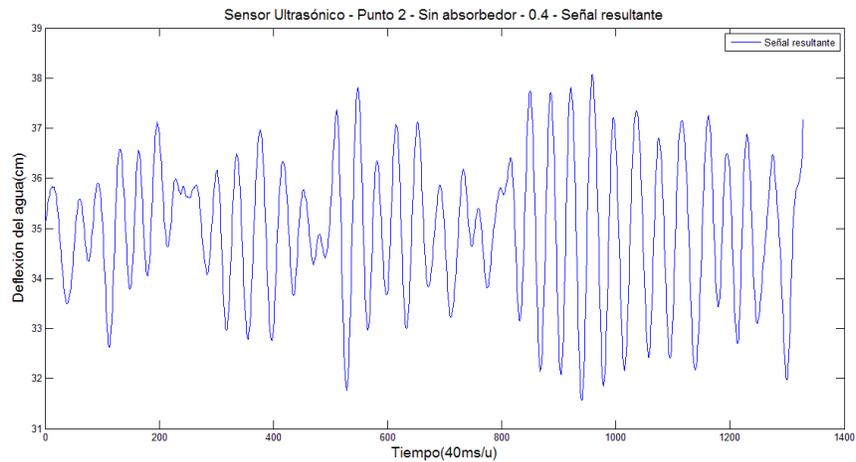
A diferencia de las pruebas realizadas en el punto 1, cabe resaltar la similitud de las señales, como mantienen su forma al ser realizadas las tomas bajo las mismas condiciones



**Figura 5-20:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Primer tramo de señales superpuestas

La onda que resulta de promediar las dos señales mostradas en la figura 5-20 se muestra en la figura 5-21. Es el resultado de promediar las dos señales, estando éstas alineadas y ajustadas en tamaño. La imagen muestra 4 secciones en las que se observa un comportamiento regular, precedidos después por tramos perturbados. Cabe resaltar que las amplitudes de las ondas en el final de las pruebas son mayores a las del primer tramo. Este comportamiento se

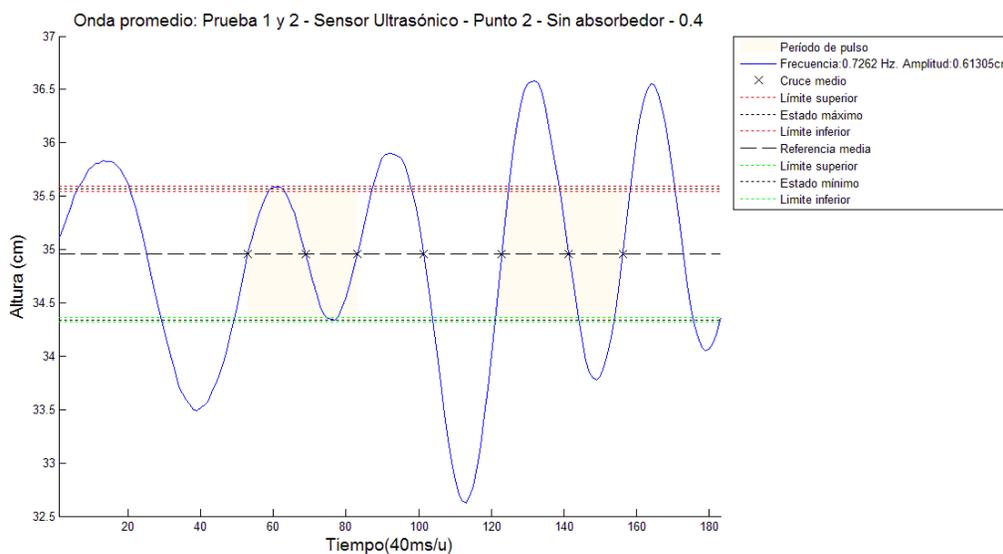
debe a que una mayor potencia aplicada sobre el "flat" para generar las olas supone una mayor energía sobre las mismas, no disiparse esa energía de las olas a lo largo del tiempo ocasiona que la onda que se genera con la onda refractada se superpongan y se sumen o resten las amplitudes.



**Figura 5-21:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Señal promediada

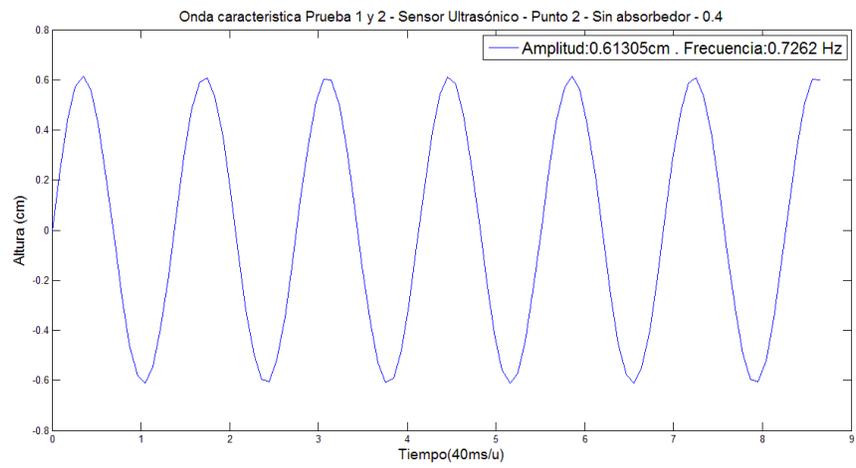
## Análisis de señal usando algoritmo 6

Se calcula la zona media de la onda, así como los niveles máximos y mínimos de la onda de menor amplitud, como es usual con el algoritmo 6. Se observa en la imagen **5-22** que la frecuencia característica de la señal analizada se repite en dos oportunidades por lo que los valores que se obtengan serán datos muy acertados, salvo por las amplitudes que toma las referencias mínimas.



**Figura 5-22:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Análisis de señal promediada- algoritmo 6

La amplitud y frecuencias calculadas para el tramo en cuestión se ilustran con la onda ideal del tramo en la figura **5-23**. La frecuencia que se calculó fue de 0.7262 Hz y una amplitud de 0.61 cm.

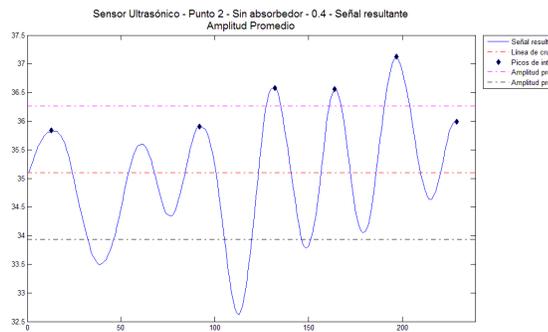


**Figura 5-23:** Sensor ultrasónico - sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4.  
Onda ideal - Algoritmo 6

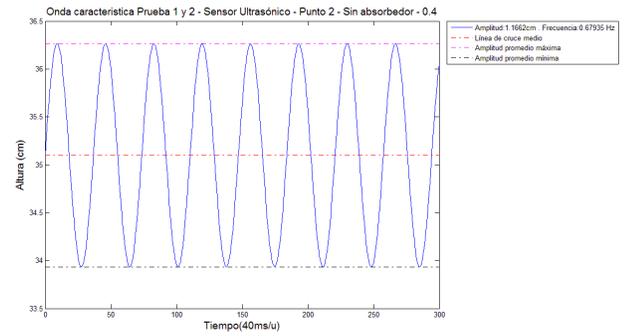
## Análisis de señal usando algoritmo 7

Por otra parte, el algoritmo 7 selecciona los primeros 6 picos que estén por encima de la referencia media del tramo a analizar y dejando por fuera aquellos picos que se encuentren con distancia menor a 30 muestras. Es por eso que pese a que existan 7 picos en la figura 5-24a solo se tengan en cuenta 6.

Los valores que se calcularon con el algoritmo 7 son mayores a los encontrados por la función "pulseperiod()" con algoritmo 6. Es una situación que se ha repetido en los análisis anteriores y sobretodo en la amplitud de las ondas. Este comportamiento se debe a que el algoritmo 6 toma como estados máximos (que corresponden a la amplitud característica del tramo) la amplitud de la onda más pequeña presente de la sección analizada. Teniendo en cuenta que el algoritmo 7 calcula la amplitud media del tramo analizados, es de esperar que este valor de la amplitud siempre esté por encima del algoritmo 6, salvo que se analicen diferentes secciones de la onda estudiada. la onda característica del tramo con las condiciones dadas se muestra en la figura 5-24b, donde la onda característica posee una amplitud de 0.60 cm y una frecuencia de 0.8223 Hz.



(a)



(b)

**Figura 5-24:** Sensor ultrasónico - sin absorbador - punto 2 - velocidad 0.4.

a) Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6.

b) Onda ideal - Algoritmo 6.

### 5.1.2. Sensor de Presión

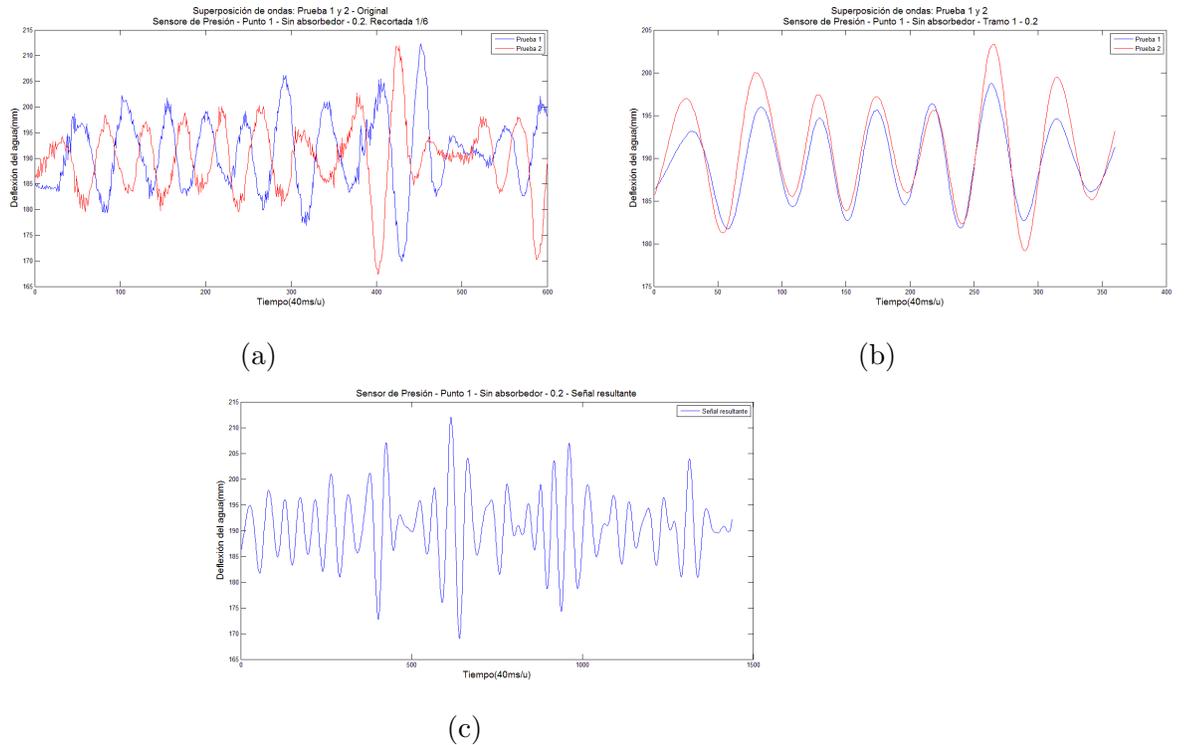
Las señales originales que se registraron con el sensor de presión eran mucho más consistentes que las obtenidas por el prototipo del sensor ultrasónico, esta diferencia radica en la sensibilidad de ambos sensores. El sensor ultrasónico maneja una sensibilidad en el orden de los milímetros, mientras que el sensor ultrasónico en los centímetros. La diferencia se puede observar en la figura **5-25a** donde se muestra el primer 1/4 de las señales originales, antes de que éstas sean filtradas. Esta mayor sensibilidad hace que sea mucho más limpia la toma de datos y que al suavizar las señales con el filtro no se tengan datos supuestos por el filtro, teniendo en cuenta como se observa en la figura **5-1b**.

**Punto 1: Velocidad 0.2** Las señales que se registraron en esta prueba se observan en la figura **5-25a** donde se puede notar un desfase por parte de las ondas que se debe a que las pruebas no fueron realizadas con tiempos estrictos por lo que para un mismo instante existen diferentes comportamientos en ambas señales. Esto fue lo que hizo necesario la alineación de las señales, pero esta se lleva a cabo posterior a ser filtrada, tal como se explica en el algoritmo 5.

El resultado luego de filtrar y alinear las señales se muestra en la imagen **5-25b**, donde se observa solo el primer tramo. Es notable como coinciden las dos muestras, mucho más por el período, pero en la amplitud no distan mucho, como sucedió con el prototipo del sensor de presión.

Como suele suceder al momento de obtener la señal promedio, se observa como al inicio las amplitudes guardan márgenes aceptables y un poco más avanzada la señal se comienzan a percibir las alteraciones (ver imagen **5-25c**). Como se hizo con el sensor ultrasónico en la primera parte, las muestras serán

analizadas solo en el primer 1/4 de las mismas, y en caso de ser necesario se obviarán los momentos iniciales debido a que estos suelen ser momentos muertos, antes de que se gesté la onda.



**Figura 5-25:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.

- b) Primer tramo de señales superpuestas
- b) Primer tramo de señales superpuestas luego de ser filtrada
- c) Señal promedio

## Análisis de señal usando algoritmo 6

se notó que el algoritmo presenta un mejor *performace* al ser mucha más estable la onda, los estados máximos (que representan la amplitud característica de la onda analizada) tienen unos valores muchos más acertados, en comparación de los casos anteriores donde se tenía picos que sobresalían por

encima de los estados máximos calculados por la función "pulseperiod()". El algoritmo 6 determina que hay tres lugares a lo largo de la señal analizada donde se presenta el mismo período, por lo que supone un valor de frecuencia que representa de manera eficiente el tramo de señal estudiado. En la figura **5-26a** se muestra la gráfica que representa el análisis y la figura **5-26b** se observa la onda inicial según los valores calculados por el algoritmo 6 que corresponden a una amplitud de 5.10mm y una frecuencia de 0.5343 Hz.

### **Análisis de señal usando algoritmo 7**

Si la sensibilidad del sensor de presión MP3V5004DP potenció en los resultados del algoritmo 6 gracias a su sensibilidad que permitió tomar cambios de nivel mucho más pequeños, es de esperar que los valores determinados con el algoritmo 7 hayan mejorado de igual forma.

Tal como se observa en la imagen **5-27a**, se identifica la zona media al igual que los primeros 7 máximos relativos de la onda. Con estos valores se determina cual es la amplitud característica del tramo obteniendo el promedio de los picos, además de calcular el período con las posiciones de los mismos. La onda característica del tramo se encuentra en la figura **5-27b**, cuya onda posee una frecuencia de 0.5226 Hz y una amplitud de 7.47mm.

**Punto 1: Velocidad 0,4** Al aumentar la velocidad con la que se generan las ondas se logra registrar los valores que se muestran en la figura **5-28a** correspondientes al primer 1/4 del par de muestras tomadas en el punto 1, con una potencia del motor del generador de 40 % y haciendo uso del prototipo basado en el sensor de presión MP3V5004DP. El aumento de la velocidad, en comparación con la anterior prueba, se percibe al ver como estos resultados muestran menor similitud que las pruebas anteriores. Respaldado por la onda promedio resultante (**5-28b**) donde se observa claramente tres tramos de ondas, divididos por tramos de señal de menor amplitud, pero sin forma de onda.

## Análisis de señal usando algoritmo 6

Al ser un poco más disparejo el tamaño de los picos, el algoritmo 6 deja un poco por debajo de los picos máximos, en cuanto al nivel de estado máximos que corresponde a la amplitud característica del tramo y que siempre se relaciona con la menor amplitud que presenta la muestra de la señal analizada, como se observa en la figura **5-29a**. La amplitud calculada por el algoritmo 6 tiene como valor 3.58mm y una frecuencia de 0.449 Hz.

## Análisis de señal usando algoritmo 7

El análisis realizado por el algoritmo 7, por lo menos en lo que concierne a la amplitud, resulta más acertado en cuanto a la amplitud, en comparación con el resultado del algoritmo 6. El resultado se observa en la figura **5-30a**, dando como resultado un valor de amplitud de onda de 4.87mm y una frecuencia de 0.579 Hz, ilustrado en la figura **5-27b**.

**Punto 2: Velocidad 0.2** Las señales originales superpuestas se observan en la figura **5-31a**, la señal no es clara en cuanto a mantener una amplitud y frecuencia se refiere. Más que representar ondas, las señales parecen representar una señal con mucho ruido. Y no es para menos estando ubicados en un punto tan cerca no a la refracción de la ola y con una potencia que no se alcanza a disipar.

El punto dos es el que se encuentra a  $3/4$  de distancia del generador de olas y cerca al punto donde retorna la ola no absorbida. La superposición de los datos tomados, recortadas  $1/4$ , se muestra en la figura **5-31b**, donde se observa que inicialmente hubo una mala toma de las señales debido al momento muerto que se puede observar. las muestras no poseen similitudes y en la figura **5-31c** se respalda este hecho al ver como no mantiene uniformidad la señal promedio a lo largo del recorrido por lo que se decide obviar el análisis de los datos teniendo en cuenta que no existe información relevante en la señal, más allá de dar por hecho la necesidad de un absorbedor que pueda disminuir el ruido absorbiendo la ola al final de su recorrido.

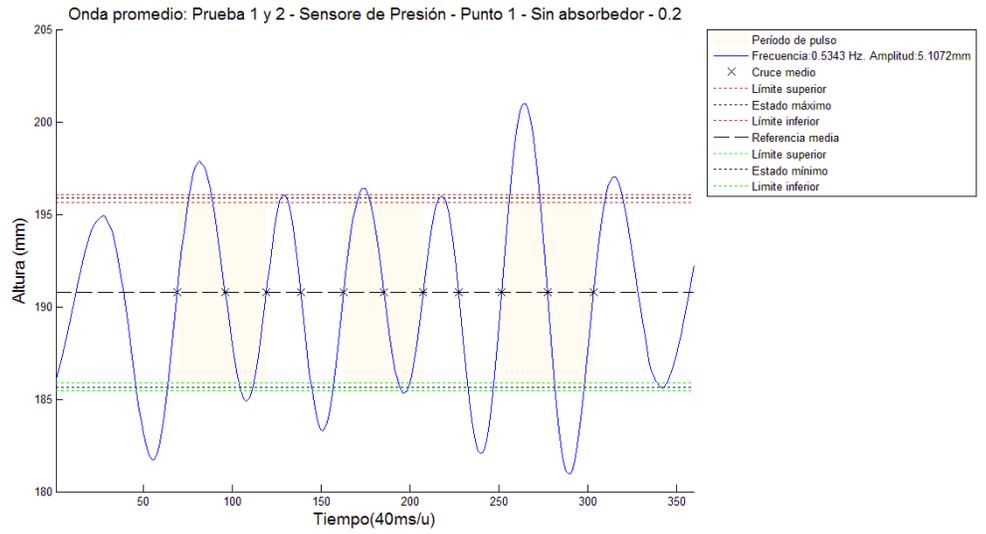
**Punto 2: Velocidad 0,4** Manteniendo las condiciones de la prueba anterior, sólo cambiando la velocidad del generador de olas a un 40 %, se obtuvieron los resultados ilustrados en la figura **5-32a**. Las señales registradas poseen un comportamiento más acertado en comparación con las anteriores. El resultado de promediar las dos señales se muestra en la figura **5-32b**. Como es de esperarse, a medida que el tiempo transcurre se aumenta la amplitud de la señal, salvo en lugares específicos donde en vez de sumarse la amplitud de la onda generada y la refractada, se restan.

## **Análisis de señal usando algoritmo 6**

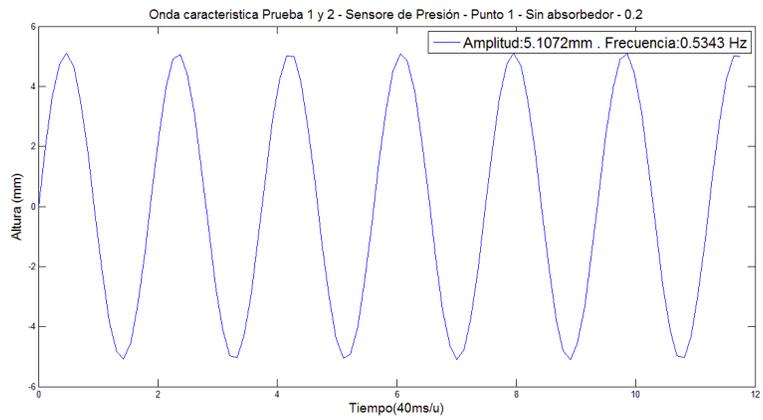
El tramo que se seleccionó para ser analizado se observa cómo se resalta la zona media y los estados máximos de la señal, llamando un poco la atención la impresión que deja la línea de cruce medio, pareciera estar ligeramente hacia arriba. Por parte otra parte, la amplitud es la correspondiente a la mínima amplitud detectada por la función "pulseperiod()". El análisis se muestra en la figura **5-33a**. Los valores de amplitud y frecuencia calculados fueron 2.99mm y 0.5733 Hz, respectivamente. La onda característica del tramo se puede observar en la figura **5-33b**

## **Análisis de señal usando algoritmo 7**

Los valores picos identificados por el algoritmo 7 se podrían dividir en dos grupos, los tres iniciales y los 4 finales. Pero se decidió que se analizara de forma general



(a)

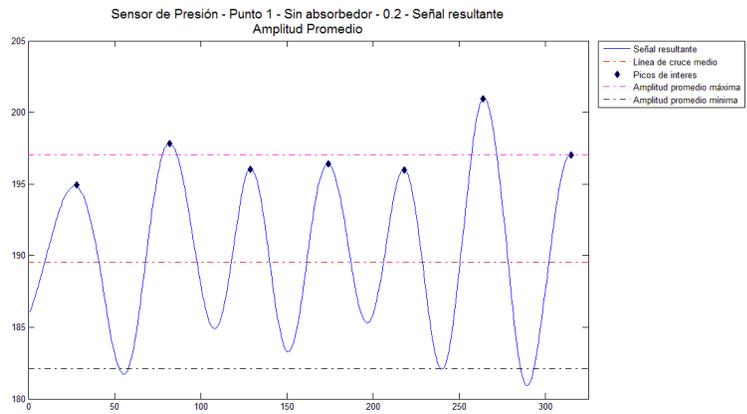


(b)

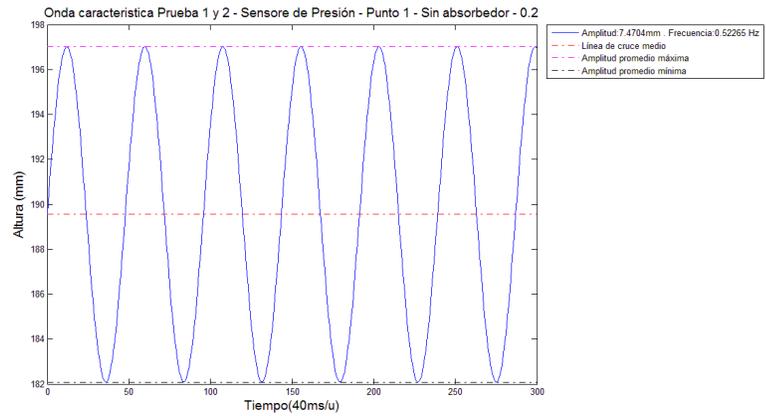
**Figura 5-26:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.

a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6

b) Onda ideal - Algoritmo 6

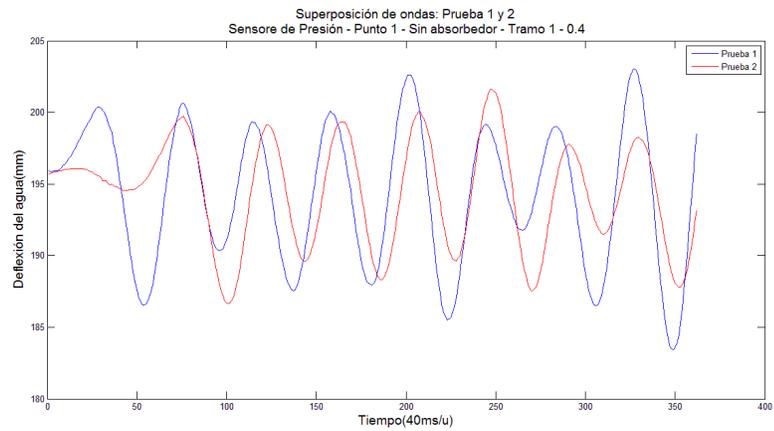


(a)

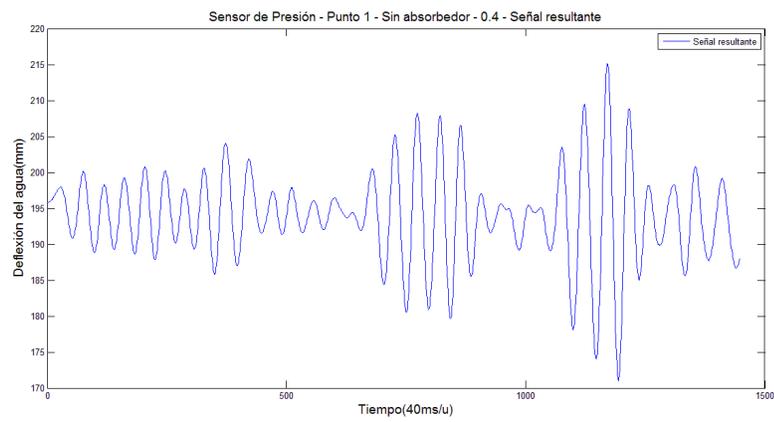


(b)

**Figura 5-27:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.  
a) Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7  
b) Onda ideal - Algoritmo 7



(a)

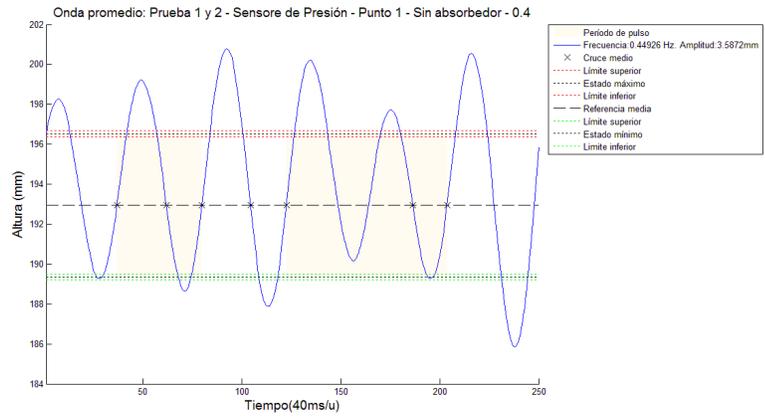


(b)

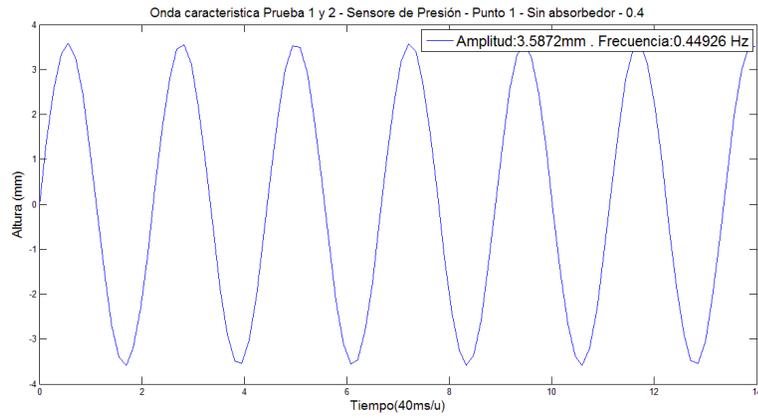
**Figura 5-28:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4.

a) Primer tramo de señales superpuestas

b) Señal promedio

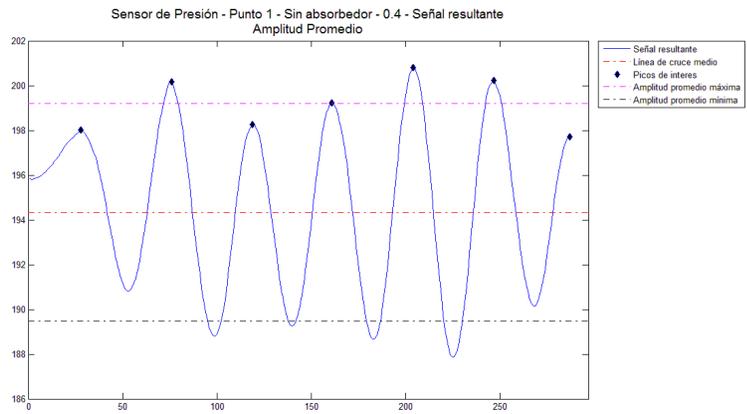


(a)

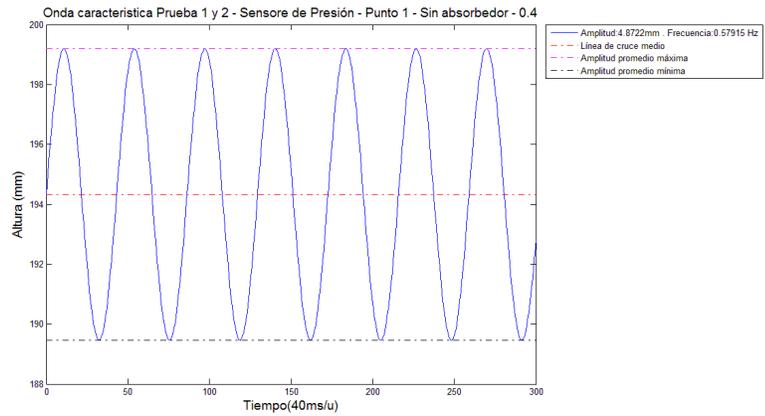


(b)

**Figura 5-29:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4.  
a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6  
b) Onda ideal - Algoritmo 6

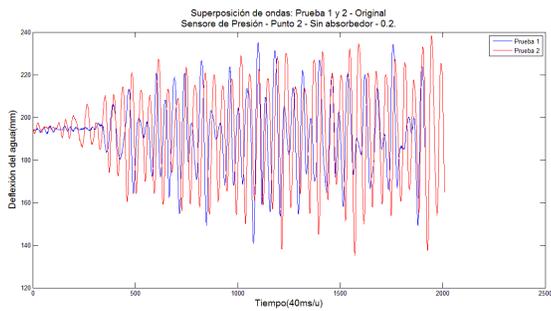


(a)

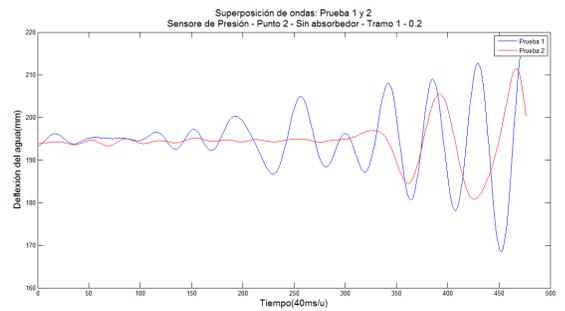


(b)

**Figura 5-30:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4.  
a) Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7  
b) Onda ideal - Algoritmo 7

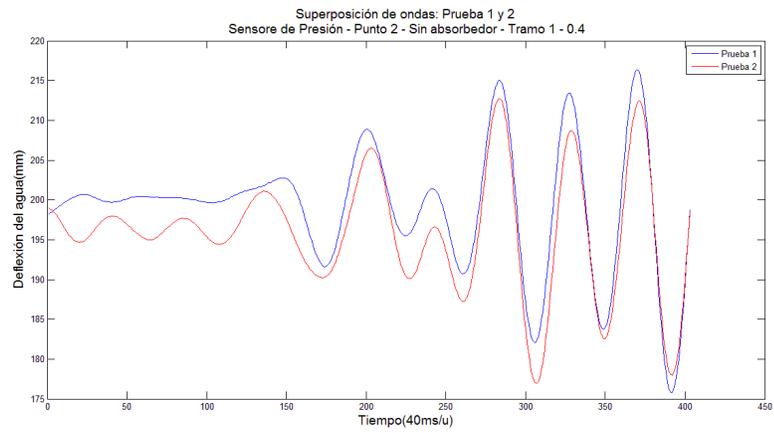


(a)

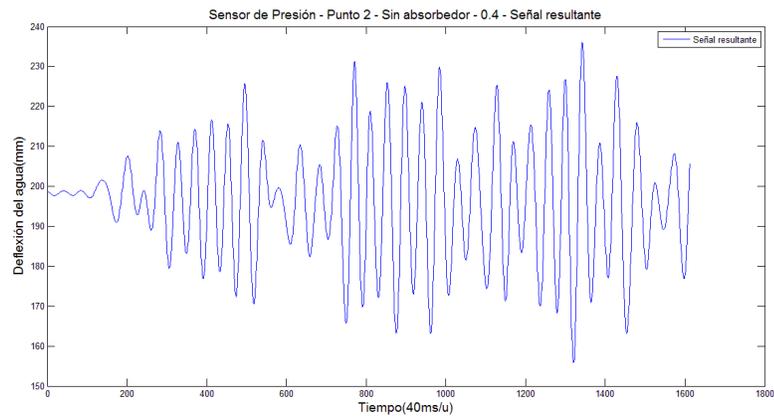


(b)

**Figura 5-31:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2.  
 b) Primer tramo de señales superpuestas  
 c) Señal promedio

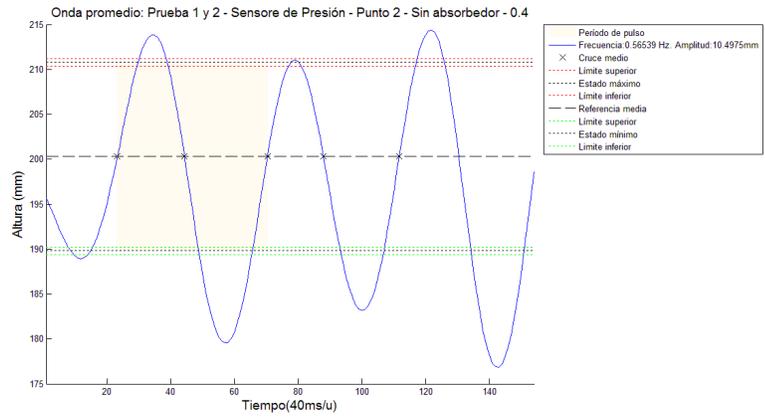


(a)

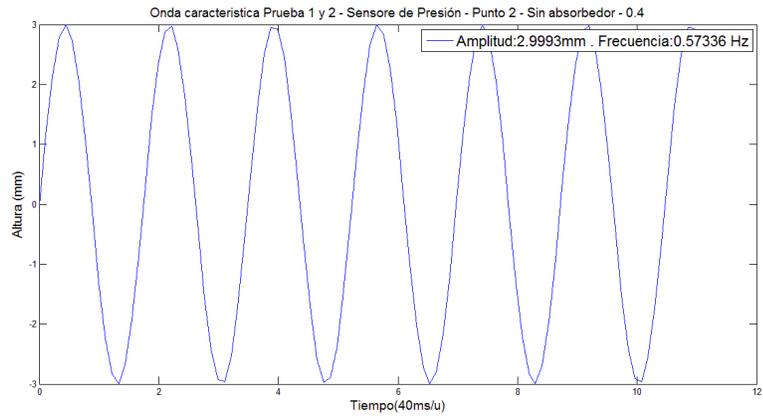


(b)

**Figura 5-32:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4.  
a) Primer tramo de señales superpuestas  
b) Señal promedio

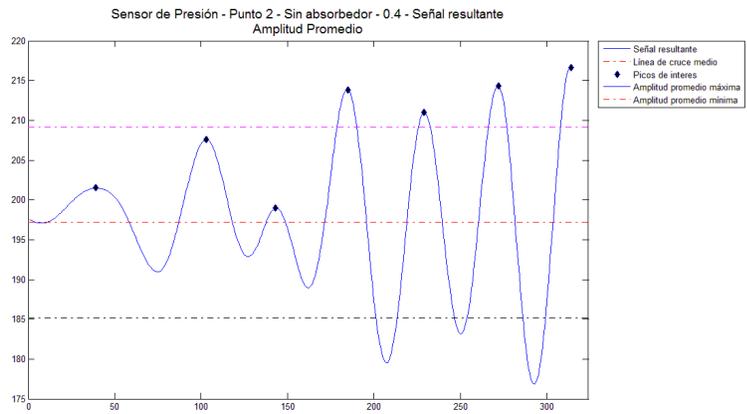


(a)

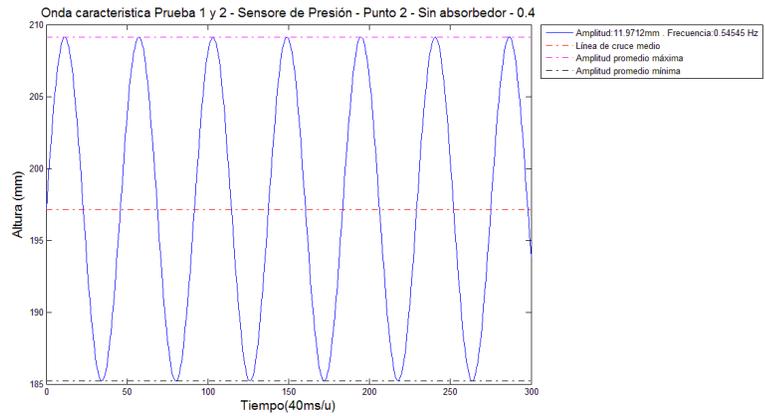


(b)

**Figura 5-33:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4.  
a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6  
b) Onda ideal - Algoritmo 6



(a)



(b)

**Figura 5-34:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4.  
 a) Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7  
 b) Onda ideal - Algoritmo 7

## 5.2. Pruebas con Absorbedor

La segunda mitad de las pruebas se realizaron con la implementación de un Absorbedor de olas en forma de playa **4-47**, los diseños de este se sacaron de la tesis de grado presente en la Escuela Naval Almirante Padilla [1], esto con el fin de poder disipar la energía de la ola que se genera y evitar que se genere una refracción y a su vez el espectro de onda que se esté midiendo no se vea afectado por una superposición con un espectro generado inmediatamente antes. Al Garantizar que el espectro de onda que se estaba midiendo era el que idealmente estaba generando el mecanismo de creación de las olas, se logró apreciar las características reales de las olas que se generan, cumpliendo los objetivos de esta investigación. (véase Figura **4-48**)

### 5.2.1. Sensor Ultrasonico

Hecha las instalaciones y la calibración correspondiente, se tomaron los datos con el sensor ultrasónico. Los primeros valores a registrar serían los correspondientes al primer cuarto del canal (Punto 1) con las dos velocidades consideradas: 0.2 y 0.4

#### Punto 1: Velocidad 0,2

Así como es descrito en el código 5, la primera gráfica que se obtiene es la superposición de las dos señales originales. Se observa que son señales alternadas y continuas que poseen una amplitud muy similar durante toda la prueba. La coincidencia se puede observar en la imagen **5-35a**, se puede apreciar una leve periodicidad en comparación a la prueba sin absorbedor Se

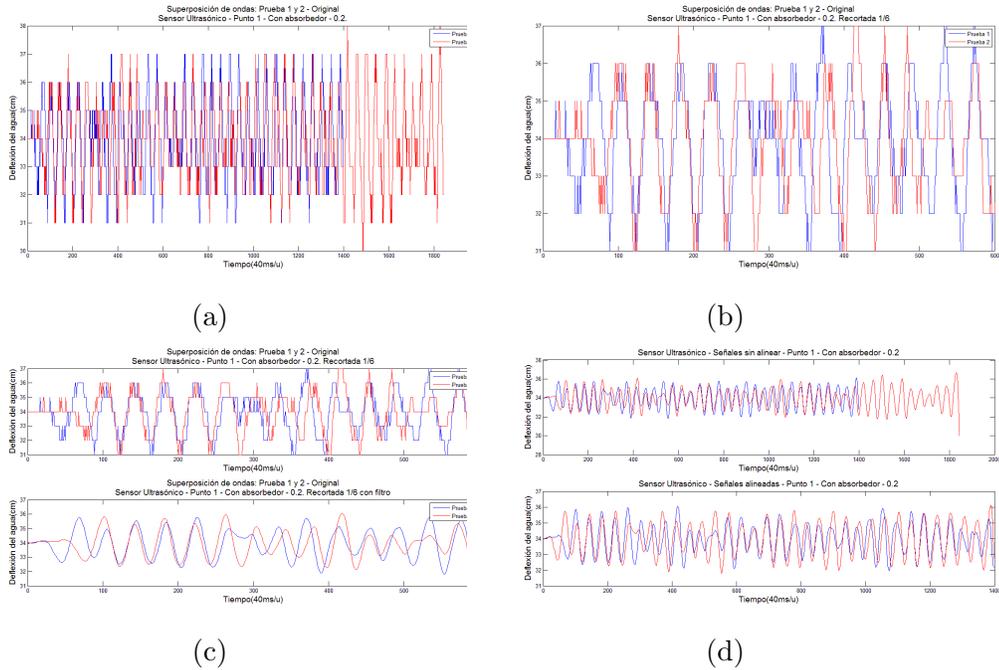
puede observar un poco más a detalle en la imagen **5-35b** donde se hace una muestra del primer tercio de los datos totales tomados.

La señal se le aplica el filtro *Savitzky-Golay* de tercer orden y con un espaciado en los puntos de interés de 41 para suavizarla y poder facilitar la extracción de las características básicas que presenta la onda. El resultado del filtro se aprecia en la imagen **5-35c**, donde se observan los resultados antes y después de ser aplicado el filtro, un contraste que resalta la importancia del mismo. Se puede observar que al inicio de ambas señales tienen un mismo comportamiento, al verse totalmente diferentes en las dos últimas terceras partes del tiempo total de la muestra.

Nos evidencia la toma de esta parte para seguir haciendo el estudio de la misma para hallar la amplitud y el periodo de la señal. La figura **5-35d** muestra los desplazamientos realizados en las señales originales (Gráfica superior) para obtener un alineamiento que permita visualizar la semejanza que ambas señales poseen (Gráfica inferior). Se observa que los picos locales no se encuentran alineados a lo largo de la toma de datos, salvo en ciertos tramos donde deja entrever que existe una amplitud que se mantiene, pero variando en el período de las ondas. El tramo 1, correspondiente al primer tramo de la ola, es el que se decide analizar.

El primer tramo de las señales, correspondiente a la figura **5-36**, es el que se tuvo, y tendrá, en cuenta para realizar los análisis, específicamente los datos finales donde las amplitudes y períodos de las ondas suponen tener una mayor similitud. Inicialmente se promedian las dos señales alineadas, y se trabaja con la señal resultante. El análisis se realizará haciendo uso de los algoritmos 6 y 7, anteriormente explicados

La señal que se obtiene al promediar las señales filtradas y alineadas es la que se observa en la figura **5-37**. Es el resultado de tener en cuenta todos

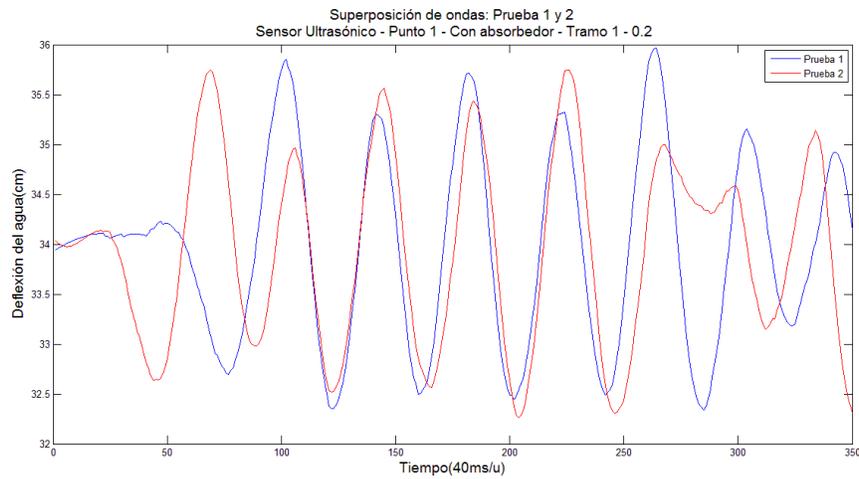


**Figura 5-35:** Sensor ultrasónico - con absorbador - punto 1 - velocidad 0.2.  
a Señales originales superpuestas.  
b Señales originales superpuestas y recortadas a 1/4.  
c Señales antes y después de aplicar el filtro Savitzky-Golay.  
d Antes y después de aplicar el alineamiento.

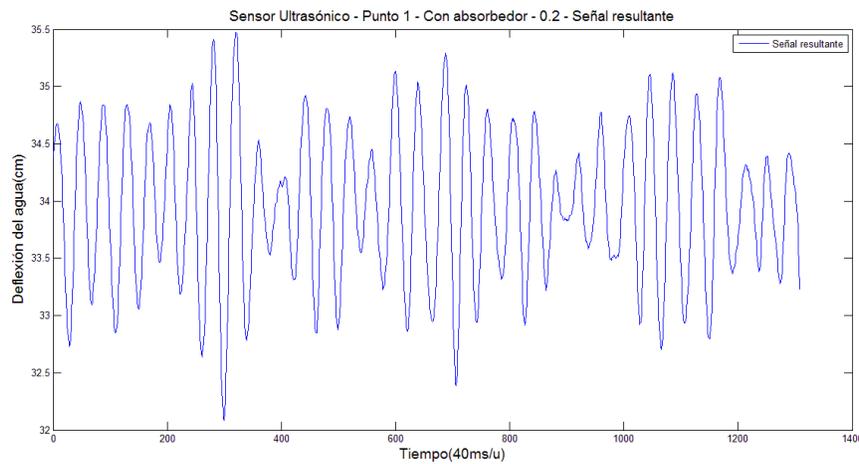
los datos de los registros tomados. En el tramo inicial, debido a que los picos de las dos señales promediadas se encontraban desalineados, se observa que no existe un perfil de onda definido, los datos distaban mucho como para dar como resultado una onda limpia, sin embargo, se observa tramos en los que se refleja la oscilación senoidal.

### Análisis de señal usando algoritmo 6

la parte de interés luego de obtener el promedio de las señales de la imagen



**Figura 5-36:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Primer tramo de señales superpuestas

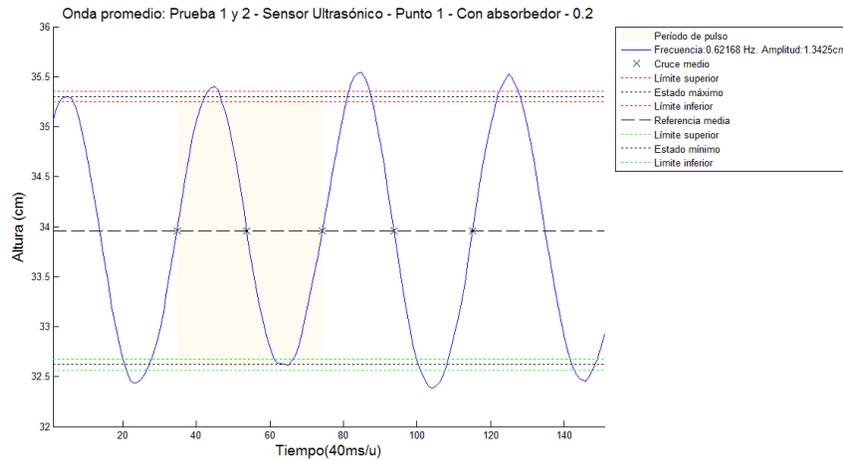


**Figura 5-37:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Señal promediada

5-36 se observa en la imagen 5-37. No se tuvo en cuenta todo el tramo de la señal debido a que los primeros picos no poseían un perfil de onda oscilante,

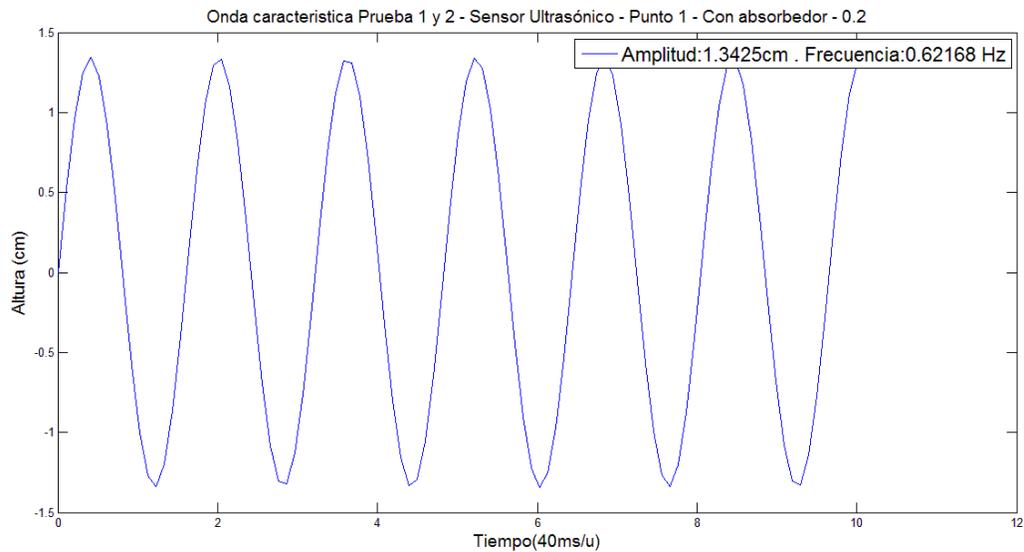
no poseían las características normales de una onda reflejada en el agua por lo que se consideró conveniente excluirlos del análisis.

La fracción de interés se observa en la figura 5-38, además de resaltar ciertas características de la onda como lo son la referencia media, la zona de período de pulso, los estados máximos y mínimos, la amplitud y frecuencia. Los niveles de estado, que son las líneas que se encuentran por encima y debajo de la referencia media, suponen la amplitud característica de la onda, pero se observa que los valores no corresponden del todo porque no alcanza a arropar los picos, salvo el primero, el más pequeño. Los valores de calculados con las herramientas de Matlab fueron de: 0.62168 Hz para la frecuencia y 1.3425 cm de amplitud. Según los valores obtenidos, la ola característica del



**Figura 5-38:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Análisis de señal promediada- algoritmo 6

análisis del punto 1, con absorbedor, con una velocidad de 0.2 y utilizando el prototipo del sensor ultrasónico es la ilustrada en la imagen 5-39. Esta sería la onda ideal que caracterizaría las condiciones bajo las cuales se tomaron estos datos.

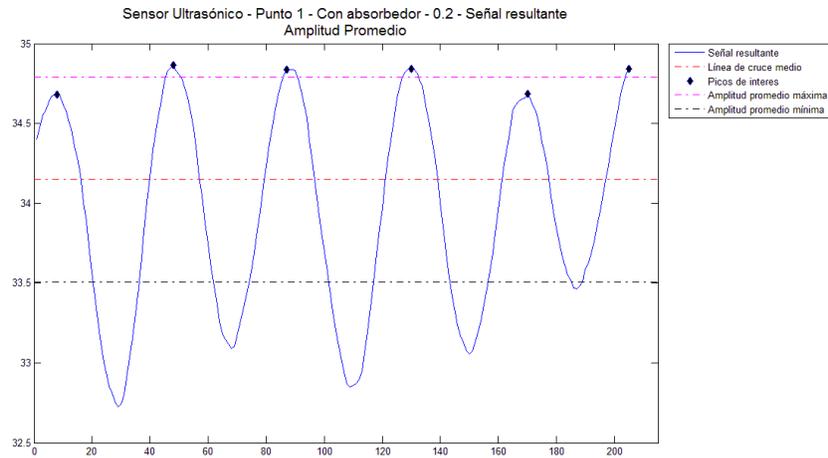


**Figura 5-39:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.  
Onda ideal - Algoritmo 6

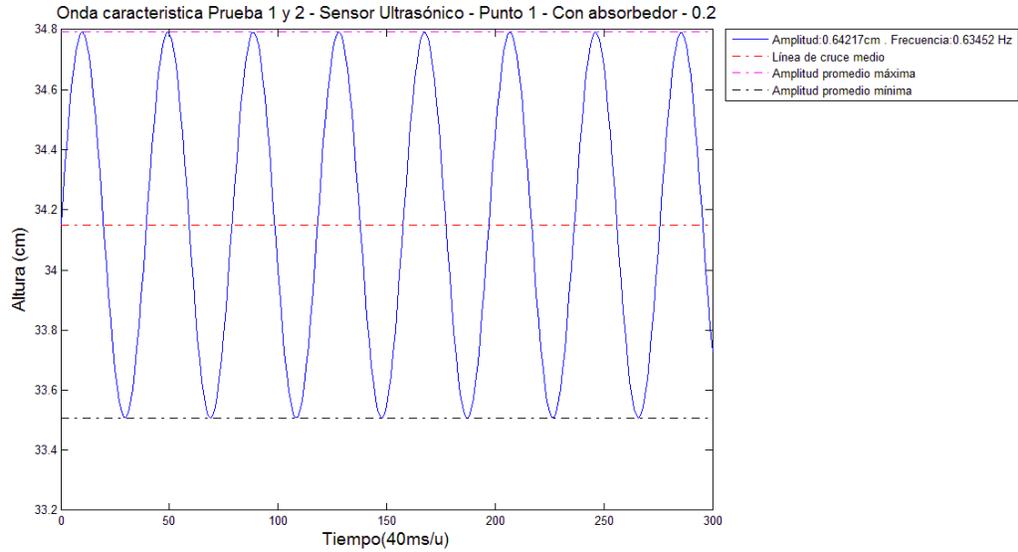
### Análisis de señal usando algoritmo 7

El segundo análisis de las señales se realiza con la lógica del algoritmo 7, este algoritmo inicialmente encuentra los máximos locales presentes en la función, en donde selecciona los primeros 6. Ubica las posiciones y registra cada uno de los valores, con esta información se obtienen los datos de interés: frecuencia y amplitud de la onda. En la figura 5-40 se observa la línea media de referencia y los valores máximos y mínimos promedios tomado por la función.

A diferencia que con el análisis del algoritmo 6, en este se tiene en cuenta una mayor región de amplitud, con un valor de 0.64217cm y con una frecuencia de 0.63452 Hz. Valores que distan de los tomados anteriormente, teniendo en cuenta que son los mismos datos analizados.



**Figura 5-40:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6

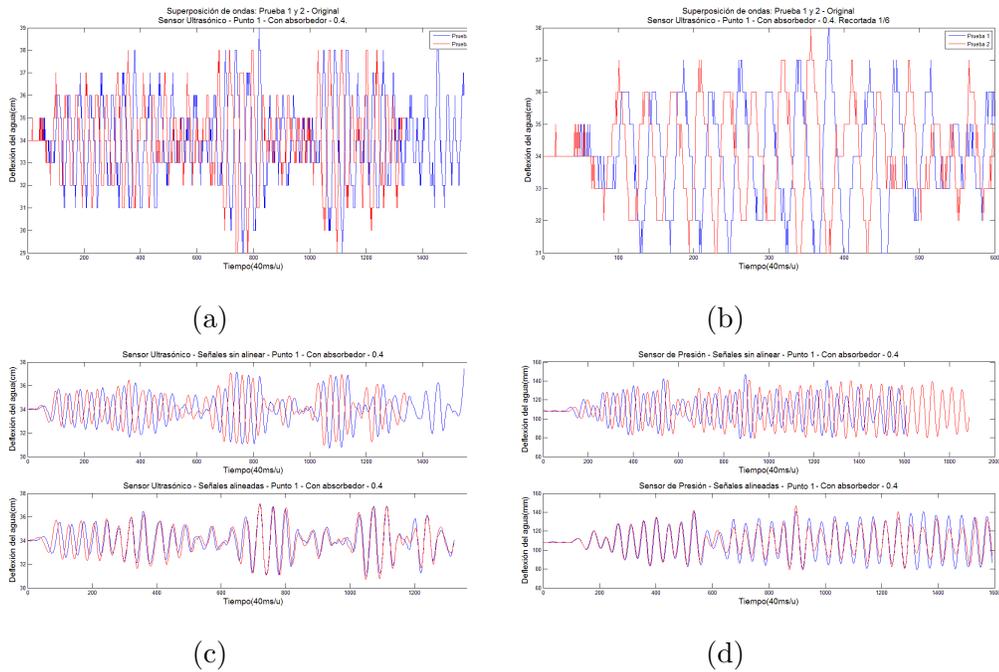


**Figura 5-41:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6

**Punto 1: Velocidad 0,4** Trabajando con la una potencia de 40% en los RPMs del motor, que equivalen a colocar el valor de 0.4 en el panel de control del software del generador de olas, se tienen los siguientes resultados:

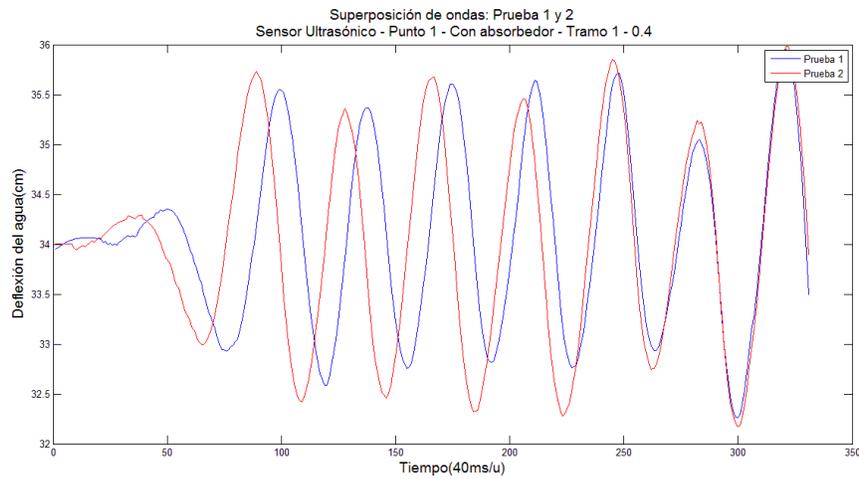
Como se observó en las imágenes con una velocidad en el panel de control de 0.2, se muestran las cuatro imágenes correspondientes a las señales originales superpuestas en la figura **5-42a**. Se observa más a detalle el primer cuarto de ambas señales en la figura **5-42b**, donde se observa con más claridad al par de señales y se deja entrever que los resultados.

Las señales filtradas se pueden observar en la figura **5-42c**, la imagen inferior, donde se muestra en evidencia que las señales comparten similitudes. Los picos y amplitudes son casi los mismos entre las señales lo que deja a parte la veracidad con los datos encontrados, donde la señal analizada es el promedio de las dos señales alineadas. La alineación se observa en la figura **5-42d** donde se puede apreciar en su mayoría el comportamiento de la onda.



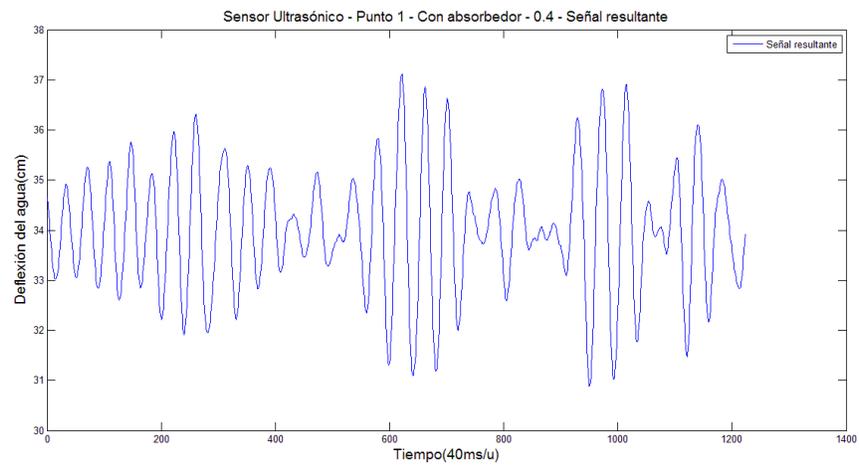
**Figura 5-42:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4.  
a Señales originales superpuestas.  
b Señales originales superpuestas y recortadas a 1/4.  
c Señales antes y después de aplicar el filtro Savitzky-Golay.  
d Antes y después de aplicar el alineamiento.

al tener dos señales similares, se siguió con el procedimiento y se llevaron a cabo los algoritmos. Nuevamente, y como será costumbre en las demás secciones, se tomó el tramo uno para ser analizado (figura 5-43). se puede apreciar que al inicio empiezan un poco desfasadas, pero al final se tornan totalmente iguales.



**Figura 5-43:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Primer tramo de señales superpuestas

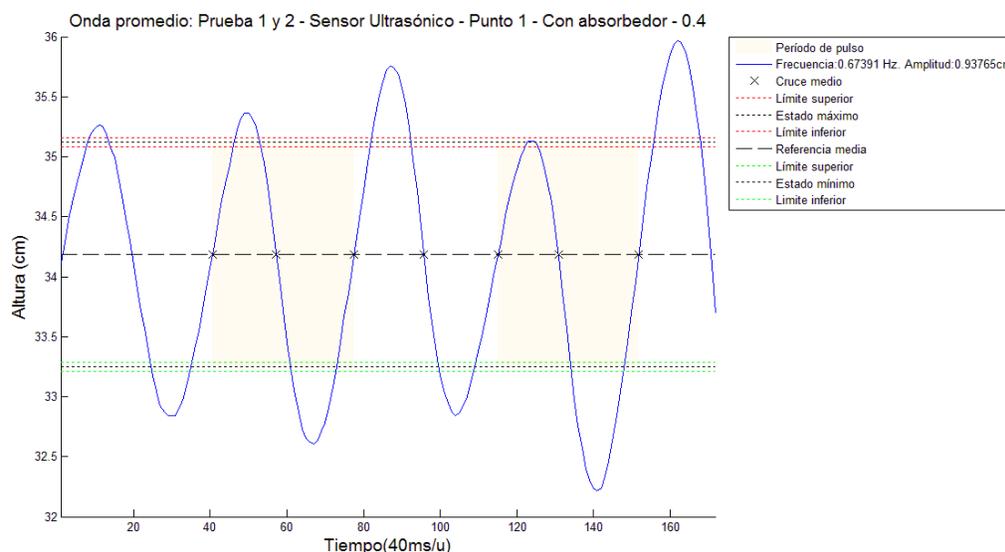
El resultado de promediar las imágenes alineadas se muestra en la figura 5-44, la onda que da como resultado, es una onda que al inicio tiene un comportamiento ideal pero luego se dan muchas alteraciones que se hacen difícil su caracterización.



**Figura 5-44:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Señal promediada

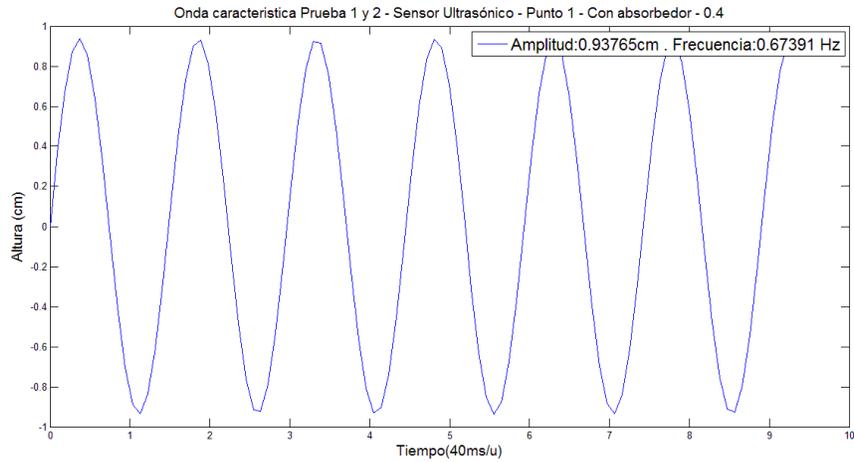
## Análisis de señal usando algoritmo 6

El tramo evaluado tiene varios máximos locales distintos (Ver figura 5-45). La función "pulseperiod()" hace su trabajo y evalúa el pulso de período, la región donde se considera se encuentra el período característico del tramo de onda seleccionado, así como las amplitudes relacionadas a la frecuencia. Inicialmente la señal tiene un comportamiento poco habitual, dejando en claro que el "flat" que genera las olas lo hace de forma continua y más o menos cumple la forma sinusoidal porque de cierta manera se van disipando la energía de las olas anteriormente creadas.



**Figura 5-45:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Análisis de señal promediada- algoritmo 6

La Amplitud y frecuencia de la onda característica del tramo analizado anteriormente se observa en la gráfica 5-46. La onda ideal del tramo poseería una frecuencia de 0.67391 Hz y una amplitud de 0.93765cm.

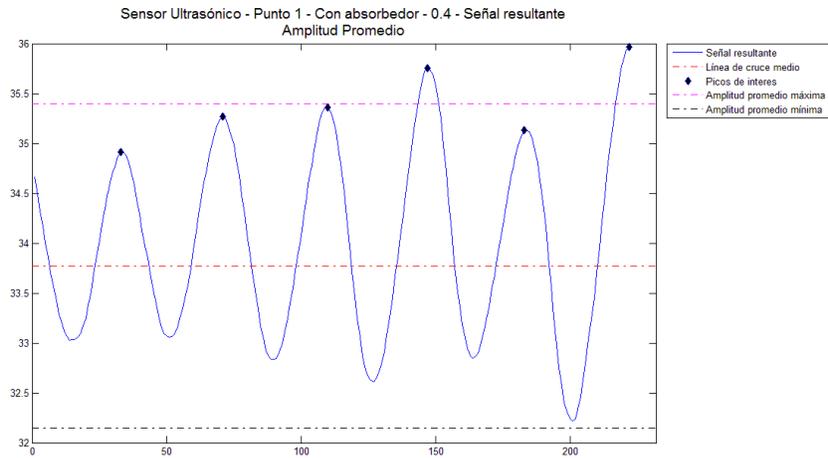


**Figura 5-46:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6

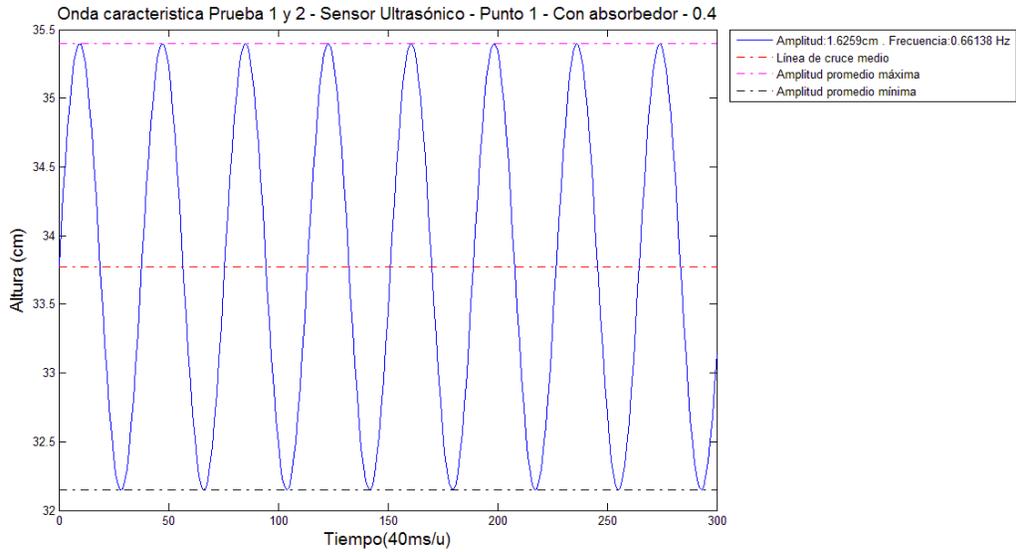
### Análisis de señal usando algoritmo 7

El algoritmo 7, como se mostró en la anterior análisis, más amplio en cuanto la amplitud debido a que utiliza la media de los máximos locales, así como la media para las frecuencias calculadas. Esto permite que los datos sean adaptados a una señal de una forma general y no lo ciñe a un criterios realizado por una función en concreto, cómo es el caso de la función "pulse-period()" utilizada en el algoritmo 6. Las características más significativas se resaltan en la figura **5-47**

El resultado es una onda ideal con las características mostradas en la figura **5-48**, la cual posee una frecuencia de 0.66138 Hz y una amplitud de 1.6259 cm.



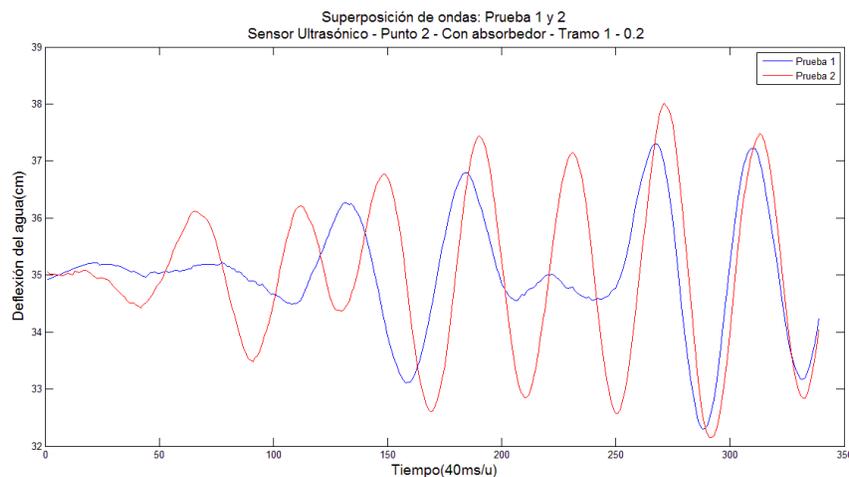
**Figura 5-47:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6



**Figura 5-48:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6

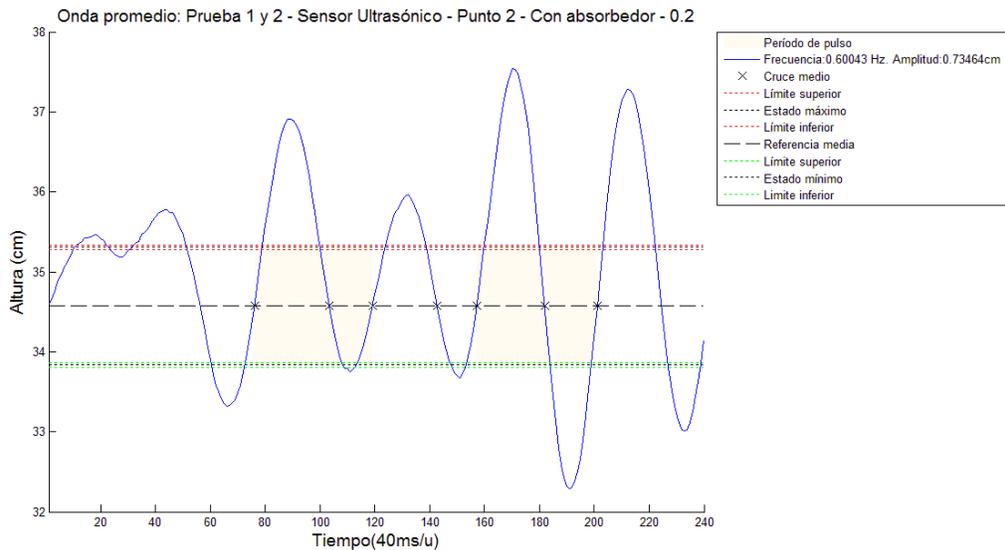
**Punto 2: Velocidad 0,2** Se creyó prudente que las imágenes correspondientes al algoritmo 5 eran redundantes en los futuros análisis a realizar, solo se consideró conveniente agregar las más relevantes, las que ayudaran a comprender la idea central del tratamiento de las señales, la extracción de sus características principales. Cabe aclarar que las gráficas que se observen ya habrán sido filtradas y alineadas.

El tramo que se decide tomar para analizar, es el tramo 1 (figura 5-49), correspondiente al primer 1/4 de las señales. Se observa que las gráficas coinciden hasta el final de la muestra. las amplitudes como frecuencia tienen una similitud que vale la pena resaltar, teniendo en cuenta que ahora se trabaja con absorbedor de olas y que el punto de estudio se encuentra ubicado a 1/4 de distancia de final del canal, es decir, a 3/4 de distancia del generador de olas.



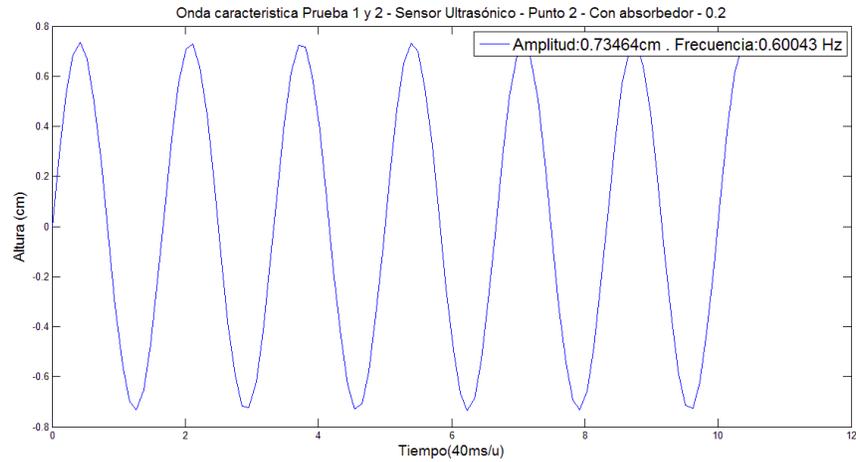
**Figura 5-49:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Primer tramo de señales superpuestas

Teniendo en cuenta que los primeros picos de la señal eran muy pequeños en comparación a los de la segunda mitad, se decide obviarlos y trabajar sobre los últimos 4 picos de los primeros tramos. Como se puede observar, nuevamente la función "pulseperiod()" identifica donde se ubica las frecuencias características de la onda, en este caso mostrando dos zonas que coinciden con el mismo período. como se puede observar en la figura 5-50.



**Figura 5-50:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Análisis de señal promediada- algoritmo 6

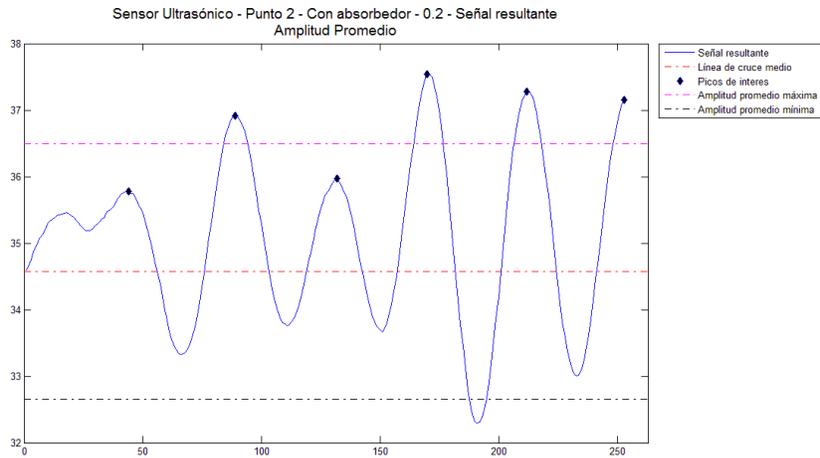
Como resultado del análisis del algoritmo 6, tenemos la onda característica, correspondiente a estas condiciones, que representa la prueba. La frecuencia registrada es de 0.60043 Hz y una amplitud de 0.73464 cm. Siendo este análisis, hasta el momento, en el que mejor han coincidido los datos. Se puede observar la figura 5-51 para observar el comportamiento correspondiente a los valores calculados.



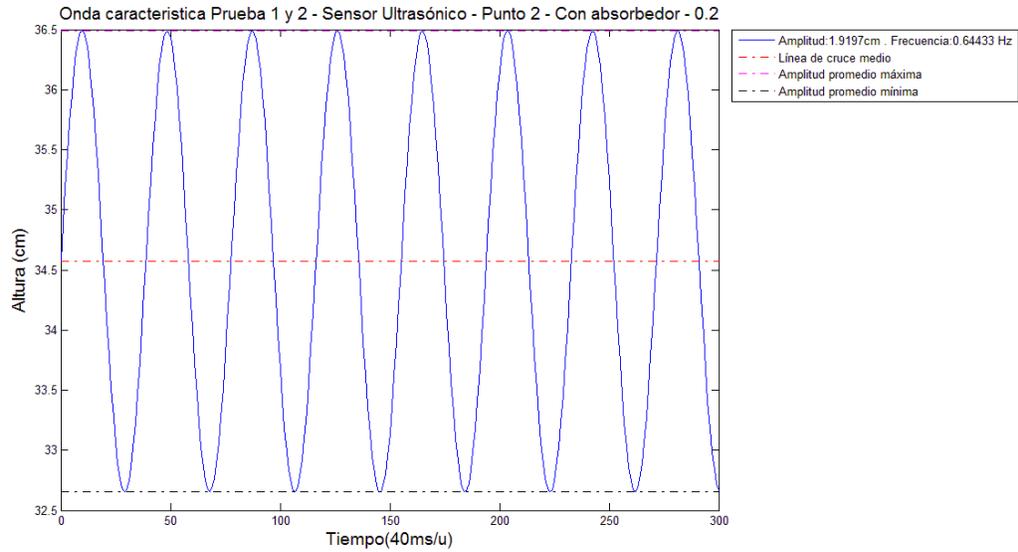
**Figura 5-51:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6

### Análisis de señal usando algoritmo 7

el algoritmo 6 a diferencia del 7 tomo todos los picos del tramo 5 y con eso obtuvo los resultados de interés. Cómo se ha mantenido a lo largo de los análisis, se observa en la figura **5-52**. Las características básicas fueron extraídas del análisis anterior y dio como resultado una onda ideal como se muestran en la figura **5-19**, con una frecuencia de 0.64433 Hz y una amplitud de 1.9197 cm.



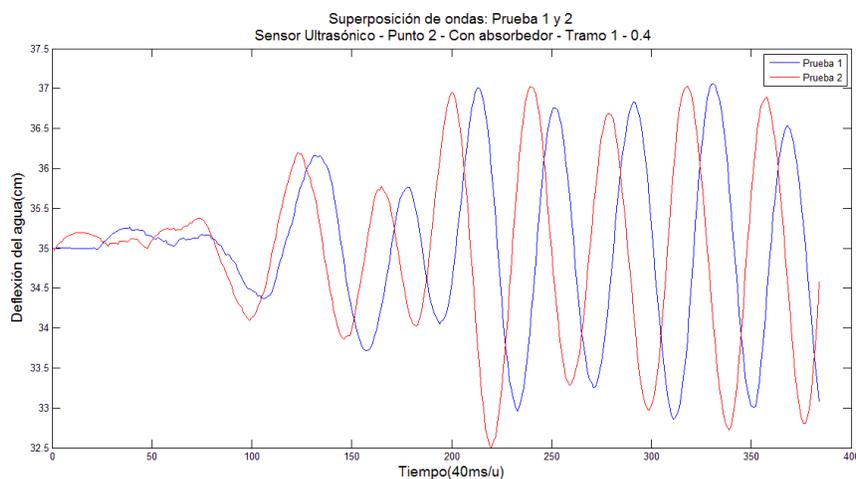
**Figura 5-52:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6



**Figura 5-53:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2. Onda ideal - Algoritmo 6

**Punto 2: Velocidad 0,4** Al igual que los datos registrados en la prueba anterior, es resaltable como las señales, en términos generales, comparten el mismo comportamiento. Los valores iniciales que se obtienen son momentos previos al que sea generada como tal la ola. Los datos mostrados corresponden a las señales luego de ser filtrada y alineada, además de estar recortada a 1/4 del tamaño original. Los comportamientos de pueden observar en la figura 5-49.

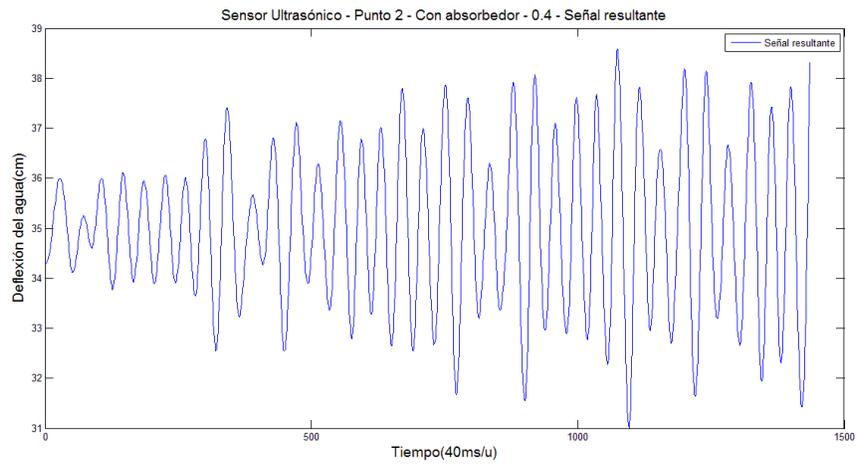
A diferencia de las pruebas realizadas en el punto 1, es necesario resaltar la similitud de las señales, como mantienen su forma al ser realizadas las tomas bajo las mismas condiciones.



**Figura 5-54:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Primer tramo de señales superpuestas

La onda que resulta de promediar las dos señales mostradas en la figura 5-54 se muestra en la figura 5-55. Es el resultado de promediar las dos señales, estando éstas alineadas y ajustadas en tamaño. La imagen muestra 4 secciones en las que se observa un comportamiento regular, precedidos después por tramos perturbados. Cabe resaltar que las amplitudes de las ondas en el final de las pruebas son mayores a las del primer tramo. Este comportamiento se

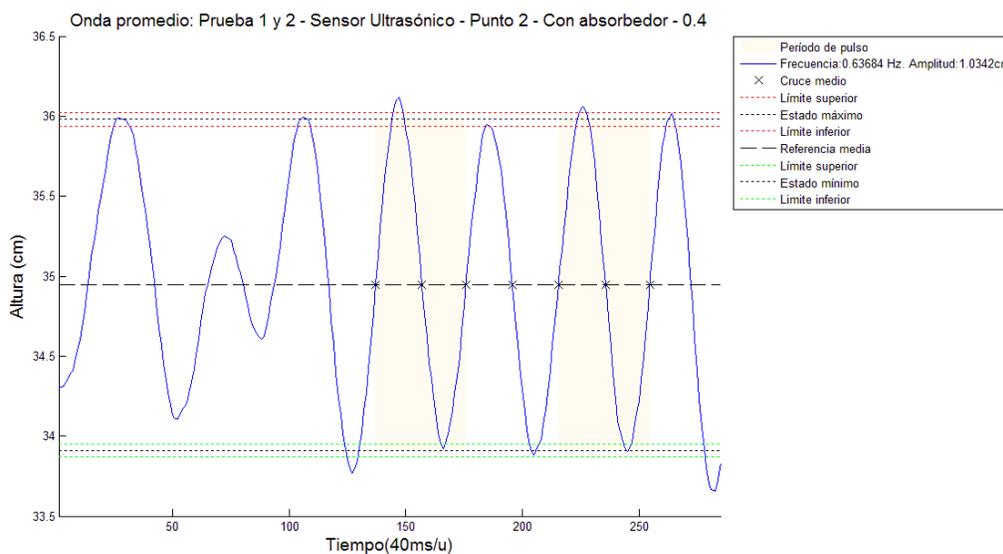
debe a que una mayor potencia aplicada sobre el "flat" para generar las olas supone una mayor energía sobre las mismas.



**Figura 5-55:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Señal promediada

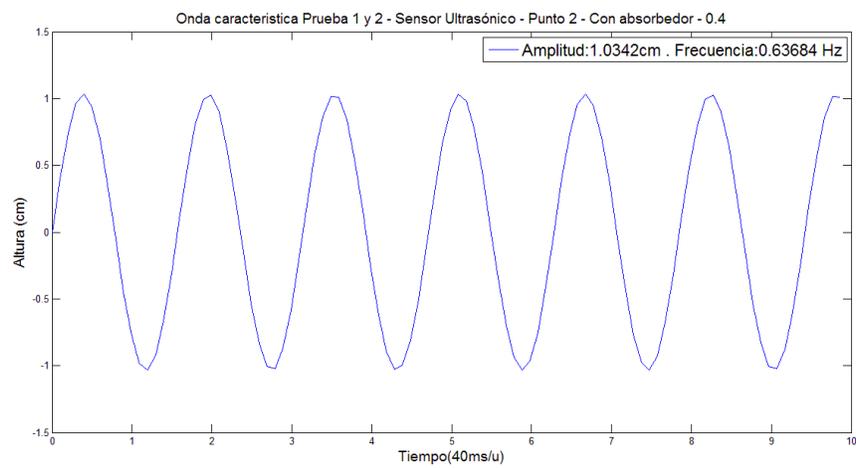
## Análisis de señal usando algoritmo 6

Se calcula la zona media de la onda, así como los niveles máximos y mínimos de la onda de menor amplitud, como es usual con el algoritmo 6. Se observa en la imagen **5-56** que la frecuencia característica de la señal analizada se repite en dos oportunidades por lo que los valores que se obtengan serán datos muy acertados, salvo por las amplitudes que toma las referencias mínimas.



**Figura 5-56:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Análisis de señal promediada- algoritmo 6

La amplitud y frecuencias calculadas para el tramo en cuestión se ilustran con la onda ideal del tramo en la figura **5-57**. La frecuencia que se calculó fue de 0.63684 Hz y una amplitud de 1.0342 cm.

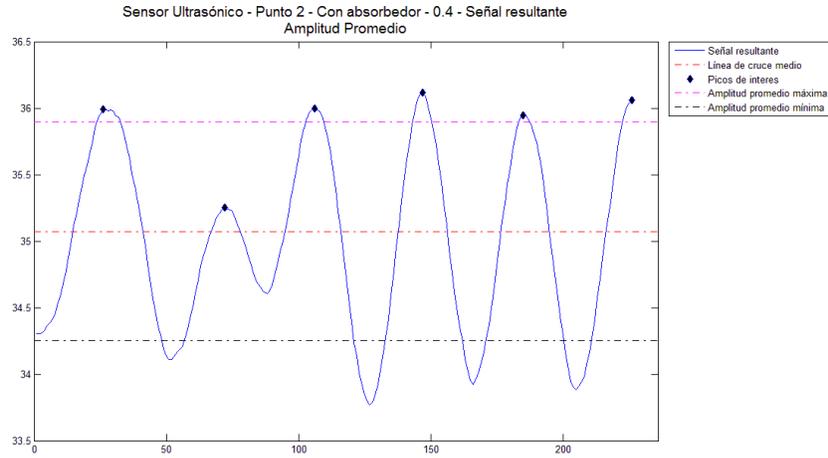


**Figura 5-57:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4.  
Onda ideal - Algoritmo 6

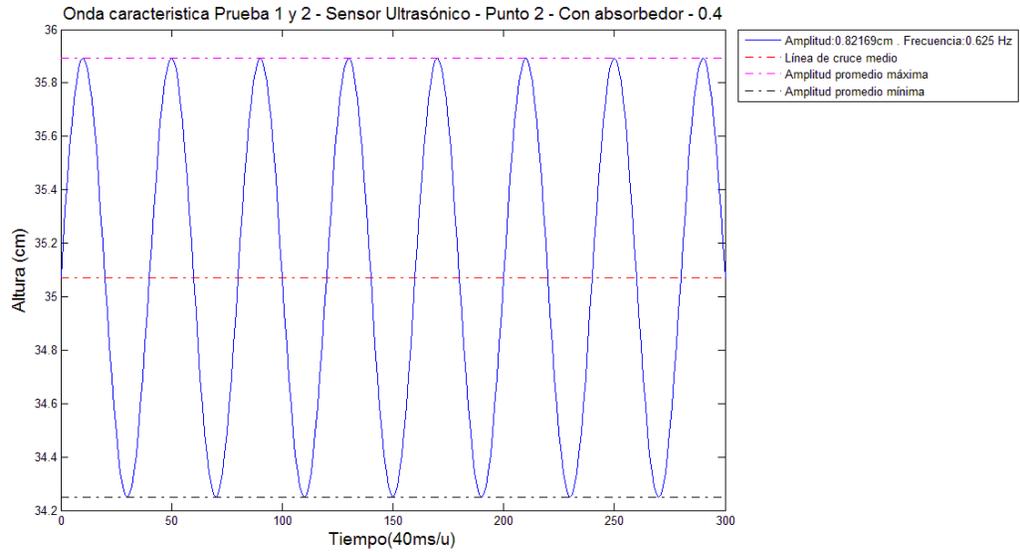
## Análisis de señal usando algoritmo 7

Por otra parte, el algoritmo 7 selecciona los primeros 6 picos que estén por encima de la referencia media del tramo a analizar ,en la figura **5-58** se puede apreciar que se usaron todos los picos de la señal.

Los valores que se calcularon con el algoritmo 7 son mayores a los encontrados por la función "pulseperiod()" con algoritmo 6. Es una situación que se ha repetido en los análisis anteriores y sobretodo en la amplitud de las ondas. Este comportamiento debe a que el algoritmo 6 toma como estados máximos (que corresponden a la amplitud característica del tramo) la amplitud de la onda más pequeña presente de la sección analizada que en este caso es solo una. Teniendo en cuenta que el algoritmo 7 calcula la amplitud media del tramo analizados, es de esperar que este valor de la amplitud siempre esté por encima del algoritmo 6, salvo que se analicen diferentes secciones de la onda estudiada. la onda característica del tramo con las condiciones dadas se muestra en la figura **5-59**, donde la onda característica posee una amplitud de 0.625 cm y una frecuencia de 0.82169 Hz.



**Figura 5-58:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 6



**Figura 5-59:** Sensor ultrasónico - con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4. Onda ideal - Algoritmo 6

### 5.2.2. Sensor de Presión

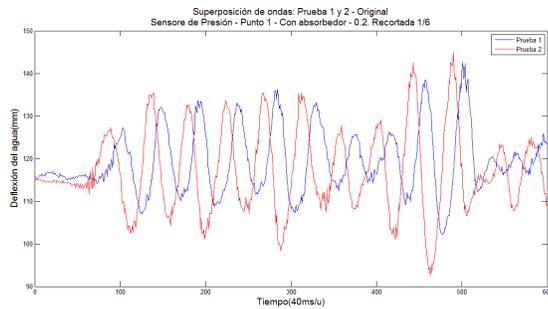
La última toma de datos corresponde a las tomadas con el prototipo del sensor de presión, junto al absorbedor de olas. Se mostrarán las gráficas que representa el comportamiento que presentaron las olas cuando fueron expuestas a cambios de velocidades por parte del generados de olas y los diferentes puntos seleccionados para hacer el análisis.

Se espera que los resultados obtenidos con el sensor de presión, haciendo uso del absorbedor de olas, sean de una gran correspondencia, así como unos excelentes resultados al ser analizados con los dos algoritmos con los que se cuenta.

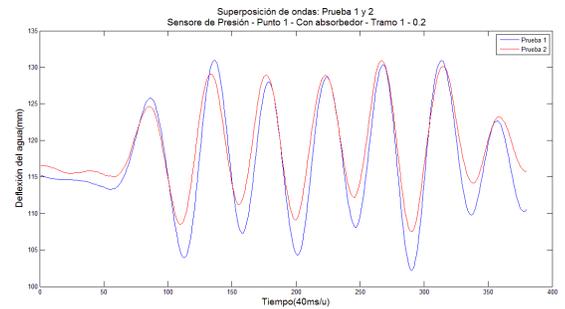
**Punto 1: Velocidad 0.2** Las señales originales superpuestas se observan en la figura **5-60a**, donde se observa el desfase de las señales. Las amplitudes y períodos de ambas señales se asemejan, a de más de mantenerlo a lo largo de un recorrido importante.

Las señales son filtradas y alineada, como se observa en la figura **5-60b**. A partir del primer pico se observa que las señales encajan en cuanto a la frecuencia, las amplitudes varían un poco pero dentro de rangos aceptables.

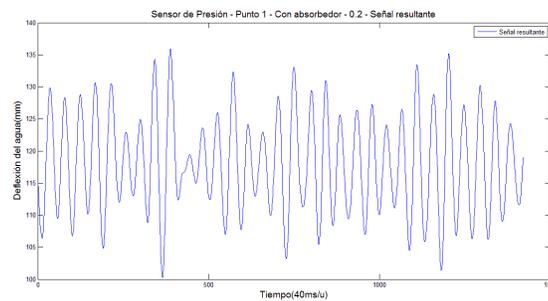
La señal promedio obtenida muestra una onda estable en el primer tramo, como era de esperarse luego de observar las señales superpuestas en la figura **5-60a**.



(a)



(b)



(c)

**Figura 5-60:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.

- a) Primer tramo de señales superpuestas
- b) Primer tramo de señales superpuestas luego de ser filtrada
- c) Señal promedio

### Análisis de señal usando algoritmo 6

Los análisis correspondientes al algoritmo 6 se ilustran en la figura 5-61a, donde se observan dos zonas que coinciden con el mismo período y unos niveles máximos que se ubican arrojando a la mayoría de los picos que se observan en el tramo de la señal.

La onda que caracteriza el tramo analizado con una velocidad de generador de olas de 0.2, con absorbedor de olas instalado al final del canal, haciendo uso del prototipo basado en el sensor de presión y en el punto 1, se

obtiene la figura **5-27b**. Los valores de frecuencia y amplitud arrojados por el análisis fueron de 0.5611 Hz y 7.73mm, respectivamente.

### **Análisis de señal usando algoritmo 7**

El algoritmo 7 junto al sensor de presión MP3V5004DP suelen dar unos resultados que engloban muchos más las características de la señal estudiada, a diferencia que el algoritmo 6 en conjunto con el sensor de presión o ultrasónico. El análisis identifica a los primeros 7 picos y según la información que obtiene de estos calcula la amplitud media y la frecuencia característica del tramo analizado. Los resultados de este algoritmo se observan en la figura **5-62a**

La figura **5-62b** representa los valores calculados por el algoritmo 7 que corresponden a una amplitud de 7.2965mm (un poco por debajo que el análisis del algoritmo 6) y una frecuencia de 0.56818 Hz.

**Punto 1: Velocidad 0,4** Al aumentar la velocidad con la que se generan las ondas se logra registrar los valores que se muestran en la figura **5-63a**, con una potencia del motor del generador de 40 % y haciendo uso del prototipo basado en el sensor de presión MP3V5004DP. Aunque el aumento de la velocidad indica que las olas se generarán con mucha más energía, los datos mantienen una correspondencia destacable, además de picos medianamente estables, sobretodo del segundo al cuarto. La onda promedio resultante (**5-63b**) donde se observa claramente tres tramos de ondas, divididos por tramos de señal de menor amplitud, pero sin forma senoidal. Los análisis se enfocarán en el primer 1/4 de la onda promedio.

## Análisis de señal usando algoritmo 6

Se observa que para este análisis el algoritmo 6 posee un desempeño muy bajo en cuanto al cálculo de la línea de cruce medio de la señal y en el cálculo de los estados máximos que se calculan teniendo en cuenta la línea de referencia media. El resultado del análisis se observa en la figura **5-64a**.

Los datos calculados se son los interpretados por la onda senoidal de la figura **5-64b** la cual cuenta con una frecuencia de 0.294 Hz y una amplitud característica de 4.75mm. La frecuencia calculada no deja de llamar la atención, teniendo en cuenta que es uno de los valores de frecuencia más bajos calculados hasta el momento.

## Análisis de señal usando algoritmo 7

El análisis realizado por el algoritmo 7 hace un análisis destacado y deja rezagado lo hecho por el algoritmo 6. El resultado se observa en la figura **5-65a** donde se observa como los estados máximos rozan los máximos locales identificados, dando como resultado un valor de amplitud de onda de 9.08mm y una frecuencia de 0.60 Hz, ilustrado en la figura **5-62b**.

**Punto 2: Velocidad 0.2** Las señales originales superpuestas se observan en la figura **5-66a**, las señales, en lo observable, muestran semejanzas en el comportamiento, lo que se alcanza a destacar es como las señales rebasa a la otra en cuanto a la cantidad de datos registrados, esto se debe a que el inicio y fin de toma de datos eran manuales y estaban atentos a errores por parte de quienes las tomaban, se trabajó con tiempos de muestreo de 1 minuto, pero claramente la señal 2 estuvo por encima del promedio de tiempo

El punto dos es el que se encuentra a  $3/4$  de distancia del generador de olas y cerca al punto donde se absorbe la ola, si bien el sistema no logra erradicarla por completo, es notable el cambio respecto a las tomas de datos iniciales donde no existía absorbedor. La superposición de los datos tomados se muestra en la figura **5-66b**, donde se observa que inicialmente hubo un tiempo muerto, registrado en ambas ondas, y posteriormente las ondas generadas. Destacando los 4 últimos picos donde las amplitudes se mantienen de forma discreta. El tiempo muerto al inicio de esta prueba se debe a que se iniciaba la toma de datos y la primera onda producida por el generador aún no llegaba al punto de análisis. La onda promedio obtenida con las dos señales de la figura **5-66a** se observan en la figura **5-31c**.

### **Análisis de señal usando algoritmo 6**

El análisis realizado por el algoritmo 6 se muestra en la figura **5-70a**. La onda característica del tramo se puede observar en la figura **5-70b** con una amplitud calculada de 17.05mm y una frecuencia de 0.56053 Hz.

### **Análisis de señal usando algoritmo 7**

Los valores picos identificados por el algoritmo 7, la línea de cruce medio y los estados máximos, se observan en la figura **5-68a**, cuyo valores corresponden a la onda ideal ilustrada en la figura **5-68b** con una frecuencia 20.05mm y una frecuencia de 0.558 Hz.

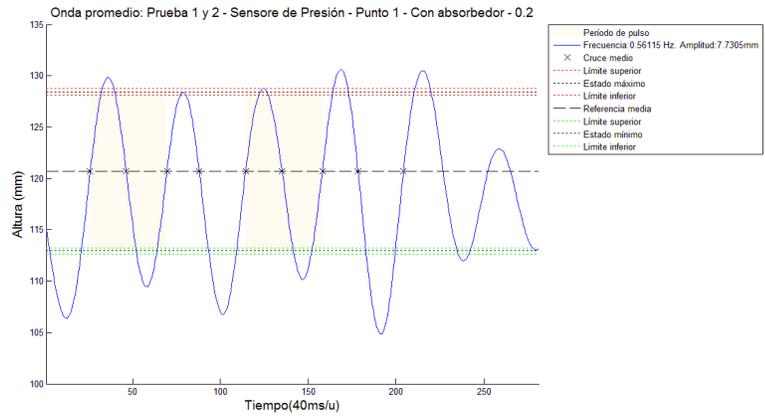
**Punto 2: Velocidad 0,4** Manteniendo las condiciones de la prueba anterior, sólo cambiando la velocidad del generador de olas a un 40 %, se obtuvieron los resultados ilustrados en la figura **5-69a**. Las señales registradas muestran una mayor similitud con el absorbedor instalado, los picos se estabilizan por momentos y permiten un análisis acertado de las señales. El resultado de promediar las dos señales se muestra en la figura **5-69b**. A medida que el tiempo transcurre se aumenta la amplitud de la señal, salvo en lugares específicos donde en vez de sumarse la amplitud de la onda generada y la refractada, se restan, obteniendo zonas de alta interferencia que no interesan analizar.

### **Análisis de señal usando algoritmo 6**

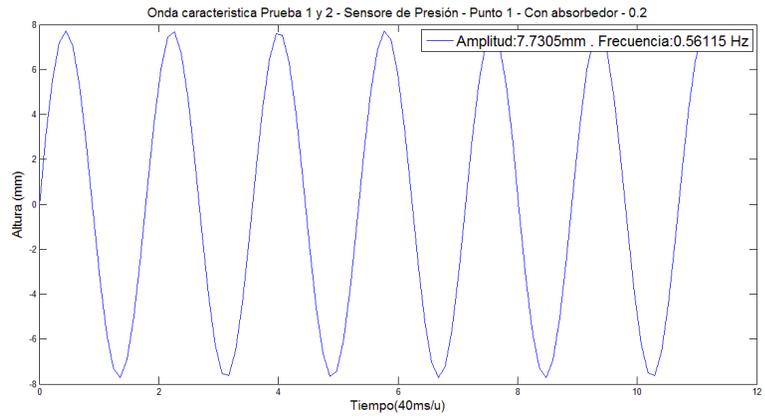
Pese a que la señal mostró un buen comportamiento a lo largo del tramo 1, el análisis realizado por el algoritmo 6 deja mucho que desear. Inicia con una ubicación precaria de la línea de cruce medio, una amplitud máxima por debajo de todos los picos que contiene el tramo y una frecuencia que prevalece en dos ciclos de onda. El análisis se muestra en la figura **5-70a**. La onda característica del tramo se puede observar en la figura **5-70b** con una amplitud calculada de 9.98mm y una frecuencia de 0.298 Hz.

### **Análisis de señal usando algoritmo 7**

Para el algoritmo 7 se toma una parte más adelantada de la onda, una zona más estable y se calculan los datos de interés. Se observa en la figura **5-71a** como los estados máximos calculados por este algoritmo logran un comportamiento resaltable. La onda característica del tramo analiza, que se observa en la figura **5-71b**, posee una amplitud media de 7.45mm y una frecuencia de 0.58 Hz.

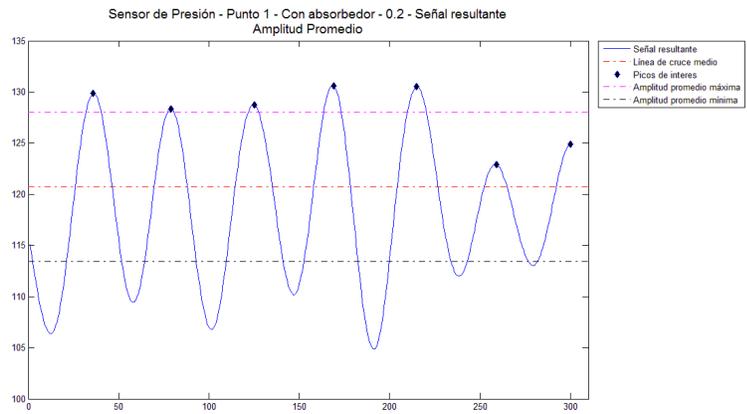


(a)

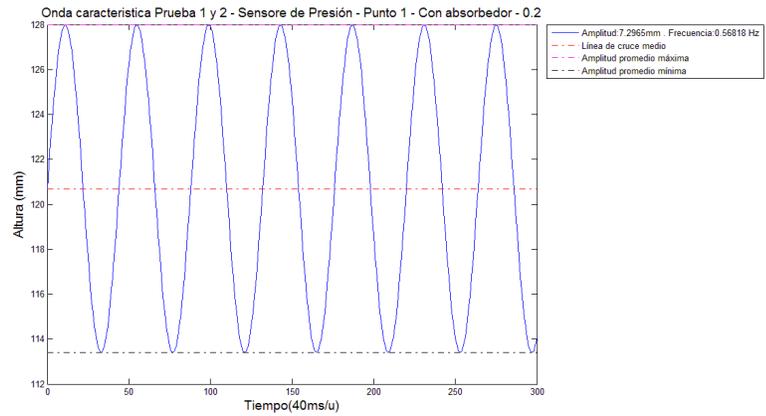


(b)

**Figura 5-61:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.  
 b) Análisis de señal promediada- algoritmo 6  
 b) Onda ideal - Algoritmo 6

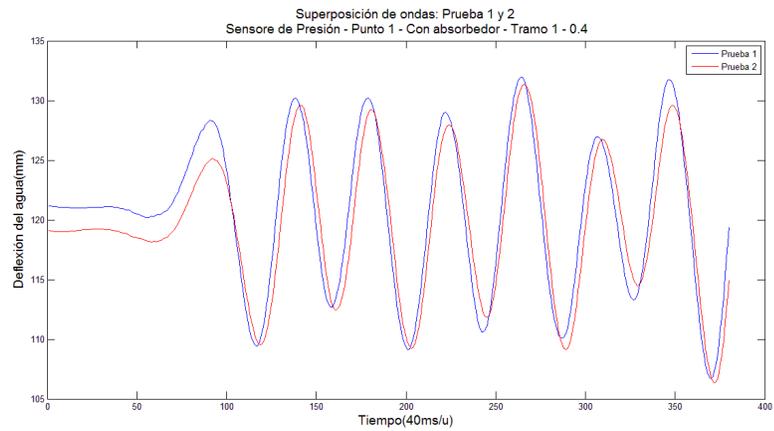


(a)

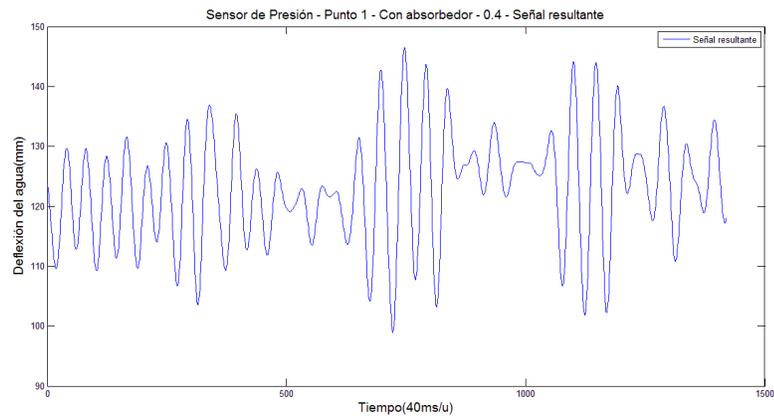


(b)

**Figura 5-62:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.2.  
a) Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7  
b) Onda ideal - Algoritmo 7

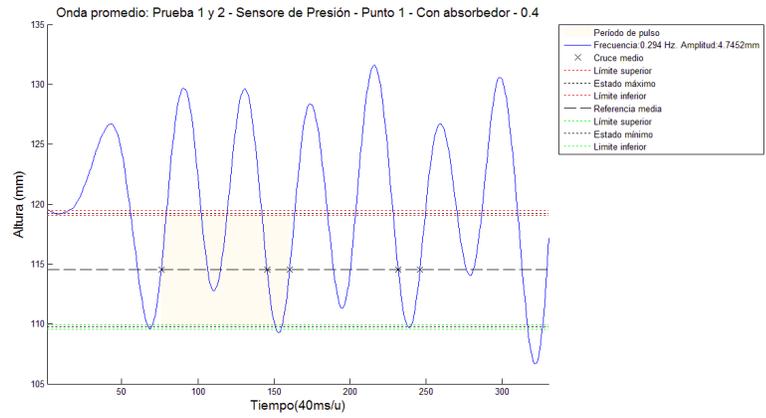


(a)

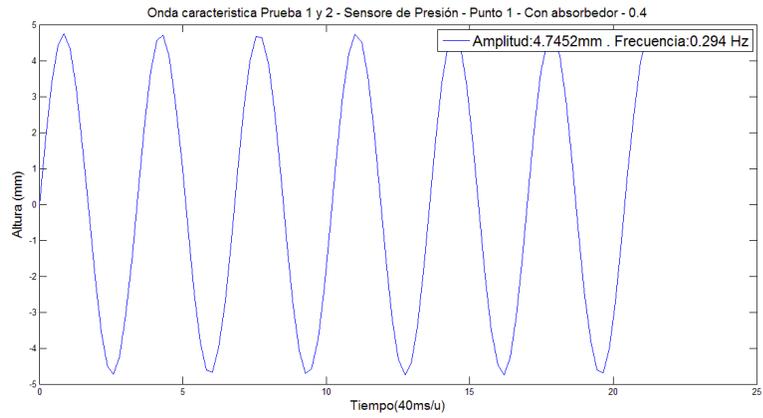


(b)

**Figura 5-63:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4.  
a) Primer tramo de señales superpuestas  
b) Señal promedio

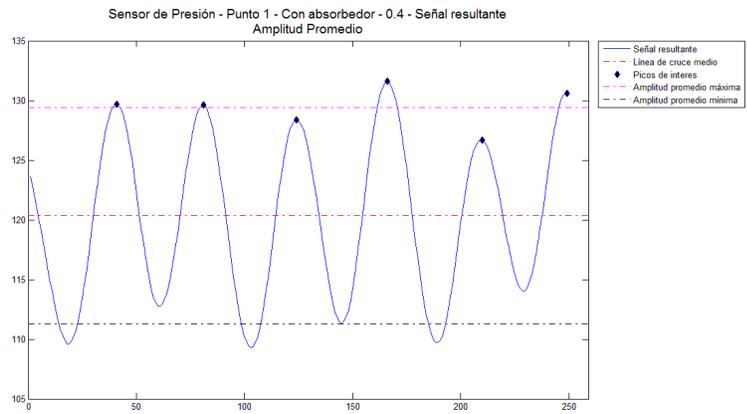


(a)

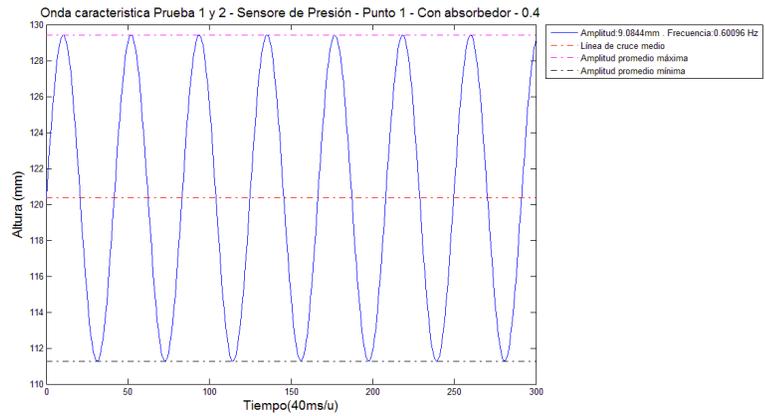


(b)

**Figura 5-64:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4.  
a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6  
b) Onda ideal - Algoritmo 6

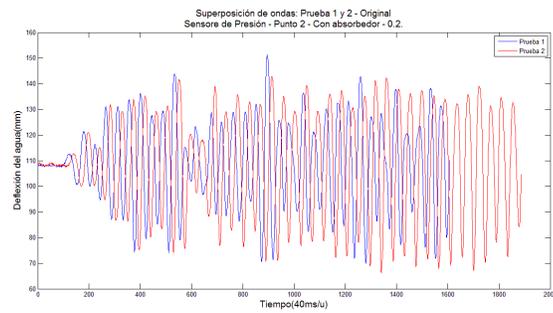


(a)

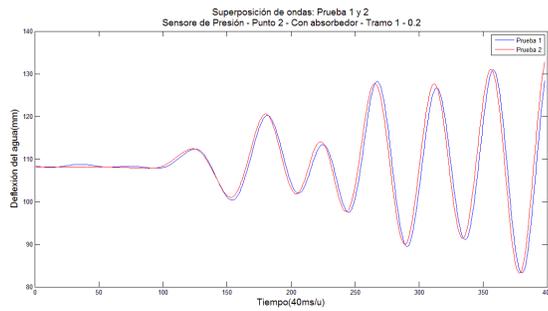


(b)

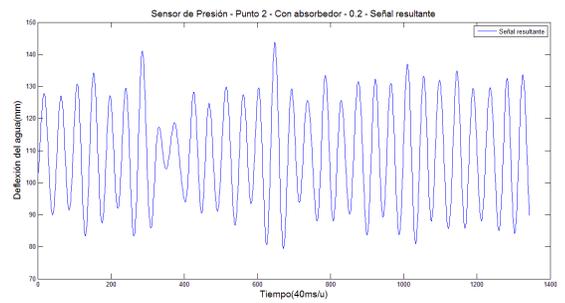
**Figura 5-65:** Sensor de presión- sin absorbedor - punto 1 - velocidad 0.4.  
a) Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7  
b) Onda ideal - Algoritmo 7



(a)



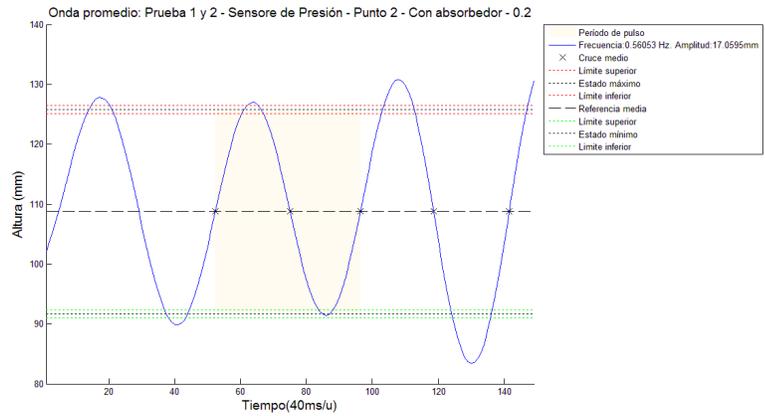
(b)



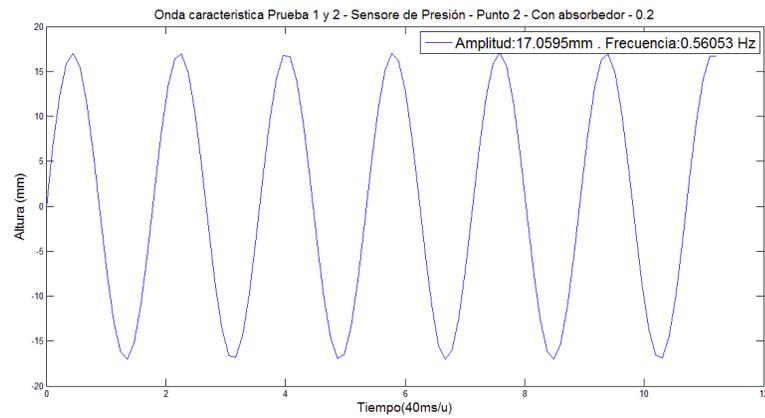
(c)

**Figura 5-66:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2.

- a) Señales originales superpuestas.
- b) Primer tramo de señales superpuestas
- c) Señal promedio.

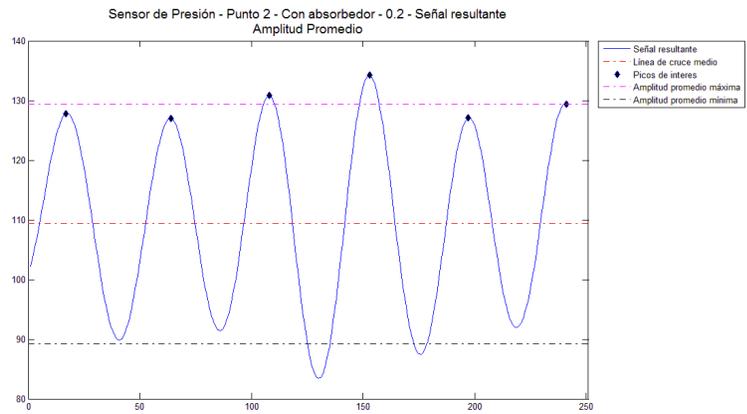


(a)

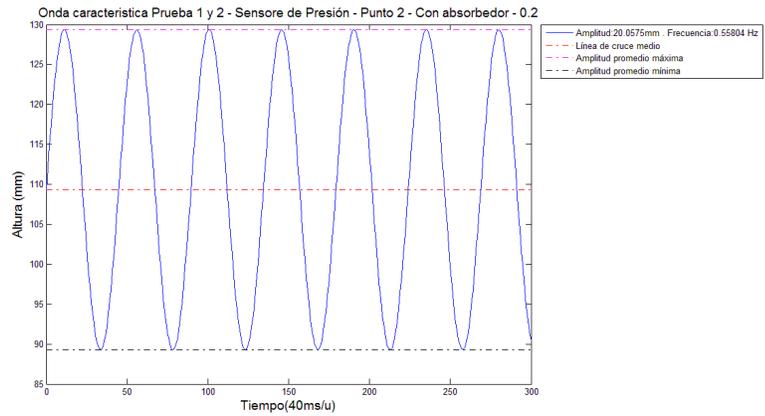


(b)

**Figura 5-67:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2.  
a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6  
b) Onda ideal - Algoritmo 6

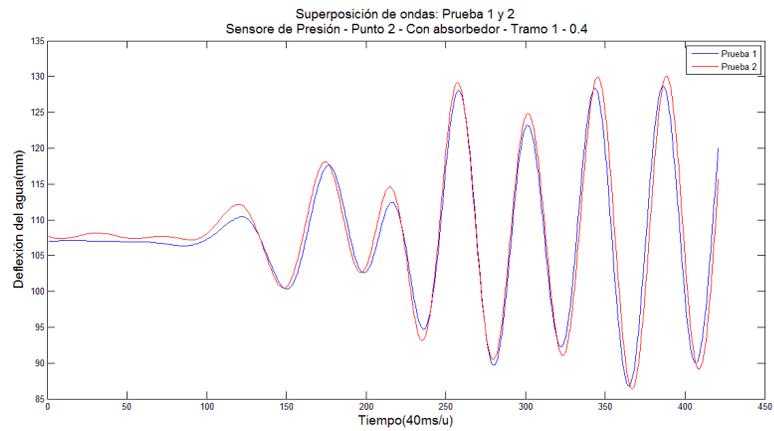


(a)

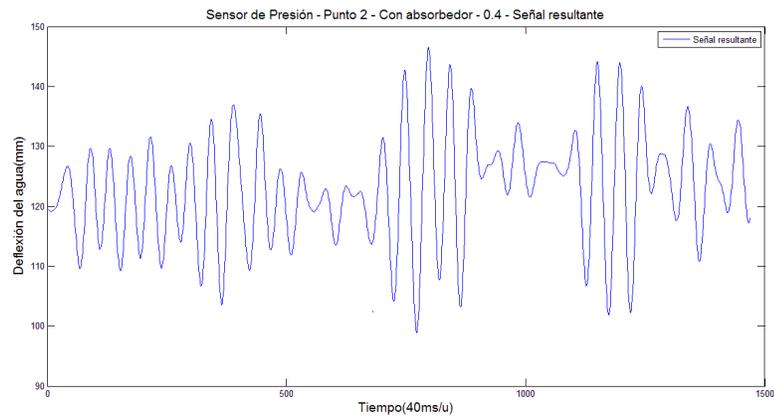


(b)

**Figura 5-68:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.2.  
a) Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7  
b) Onda ideal - Algoritmo 7

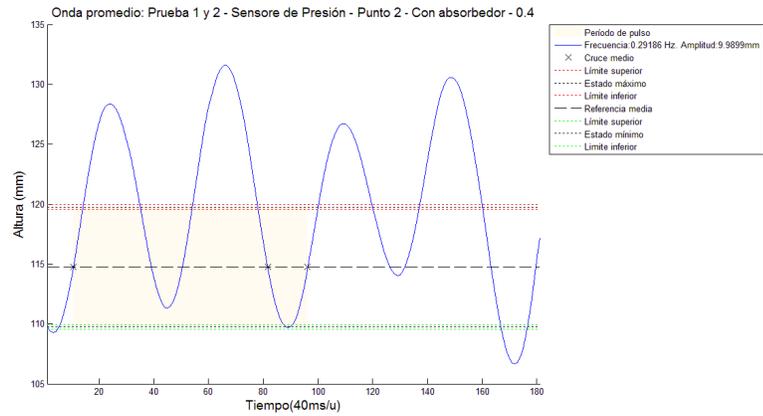


(a)

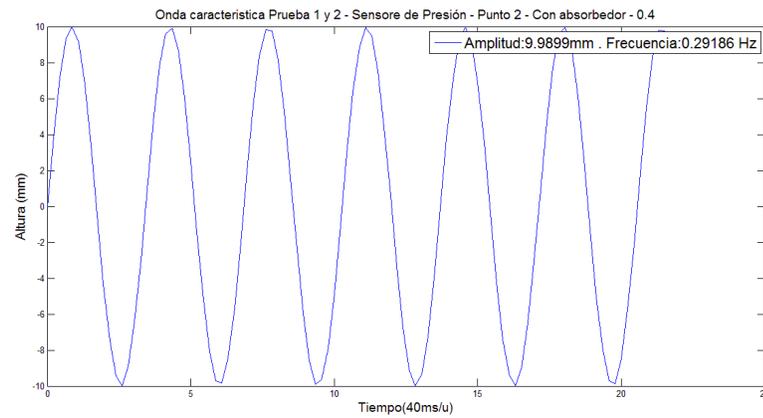


(b)

**Figura 5-69:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4.  
 a) Primer tramo de señales superpuestas  
 b) Señal promedio

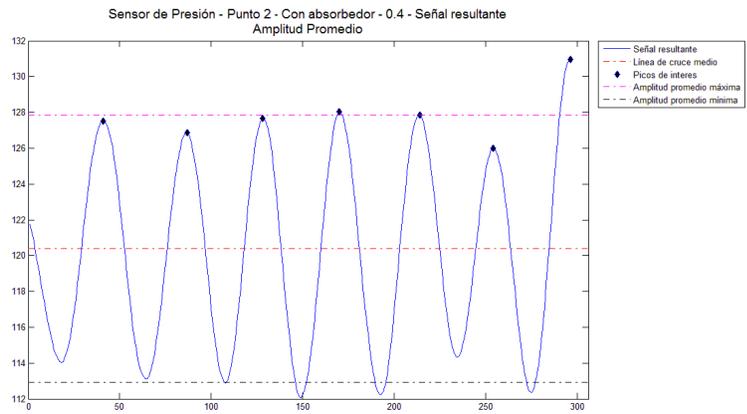


(a)

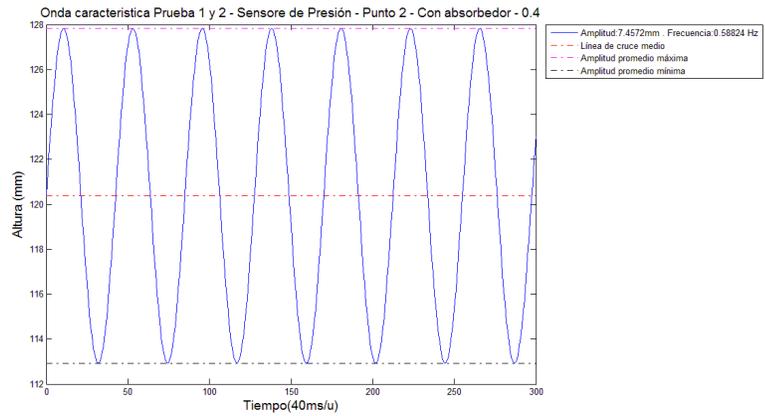


(b)

**Figura 5-70:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4.  
a) Análisis de señal promediada- algoritmo 6  
b) Onda ideal - Algoritmo 6



(a)



(b)

**Figura 5-71:** Sensor de presión- con absorbedor - punto 2 - velocidad 0.4.  
 a) Identificando los primeros 6 picos, amplitud y frecuencia - Algoritmo 7  
 b) Onda ideal - Algoritmo 7

### 5.3. Tablas de resúmenes

**Tabla 5-1:** Tabla de resultados sin absorbedor de olas

		Sensor de presion			
		Punto 1		Punto 2	
		0.2	0.4	0.2	0.4
Código 2	Amplitud	5.1072 mm	3.5872 mm	1.5096 mm	2.9993 mm
	Frecuencia	0.5343 Hz	0.44926 Hz	0.35854 Hz	0.57336 Hz
Código 3	Amplitud	7.4704 mm	4.8772 mm	1.2141 mm	11.9712 mm
	Frecuencia	0.52265 Hz	0.57915 Hz	0.62762 Hz	0.54545 Hz

		Sensor ultrasónico			
		Punto 1		Punto 2	
		0.2	0.4	0.2	0.4
Código 2	Amplitud	0.52038 cm	0.72675 cm	0.76502 cm	0.61305 cm
	Frecuencia	0.60003 Hz	0.64148 Hz	0.62038 Hz	0.762 Hz
Código 3	Amplitud	0.70705 cm	0.60711 cm	1.1247 cm	1.1662 cm
	Frecuencia	0.75758 Hz	0.82237 Hz	0.54113 Hz	0.67935 Hz

**Tabla 5-2:** Tabla de resultados con absorbedor de olas

		Sensor de presion			
		Punto 1		Punto 2	
		0.2	0.4	0.2	0.4
Código 2	Amplitud	7.7305 mm	4.7452 mm	17.0595 mm	9.9899 mm
	Frecuencia	0.56115 Hz	0.295 Hz	0.56053 Hz	0.29186 Hz
Código 3	Amplitud	7.2965 mm	9.0844 mm	20.0575 mm	7.4572 mm
	Frecuencia	0.56818 Hz	0.60096 Hz	0.55804 Hz	0.58824 Hz

		Sensor ultrasónico			
		Punto 1		Punto 2	
		0.2	0.4	0.2	0.4
Código 2	Amplitud	1.3425 cm	0.93765 cm	0.73464 cm	1.0342 cm
	Frecuencia	0.62168 Hz	0.67391 Hz	0.60043 Hz	0.63684 Hz
Código 3	Amplitud	0.64217 cm	1.6259 cm	1.9197 cm	0.82169 cm
	Frecuencia	0.63452 Hz	0.66138 Hz	0.64433 Hz	0.625 Hz

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

Este trabajo de grado fue determinante para la Escuela Naval Almirante Padilla debido a que se desarrolló un método de como tener un cierto control a la hora de la generación del oleaje para los ensayos experimentales posibles en el laboratorio de Arquitectura Naval , ya es posible saber la amplitud y la frecuencia de las olas en ciertos puntos del canal , esto a su vez permitió tener mayor conocimiento de la teoría de las olas que se estaban generando ya que el canal de prueba de la Escuela naval cuenta con dimensiones pequeñas que hacen que la propagación de las olas se vean afectadas por la refracción de las mismas y a simple vista se podía apreciar cómo no se veía una ola constante y tardaba más de 15 minutos en estabilizarse una vez apagado el generador , tiempo por el cual debimos esperar para realizar una nueva prueba, para ello se optó por la implementación de un absorbedor de olas que esto mostró cambios casi de inmediato tanto como en los sensores como a simple vista y el tiempo que se tardaba en estabilizarse ya se había reducido a 5 minutos y de cierta manera se apreciaba una ola mucho más constante.

Para el desarrollo de los circuitos electrónicos se tuvieron en cuenta el uso de los elementos electrónicos básicos y como se pensó en usar lo menos posible el cableado se usaron los módulos XBEE que nos permite una comunicación RF la cual es totalmente inalámbrica, nos facilitó la implementación de los sensores y la comunicación con estos pues íbamos a someterlos en condiciones húmedas que si bien se sabe si se exponen al agua estos sensores dejarían de funcionar , La herramienta computacional PROTEUS fue la que se usó para el diseño y simulación de los circuitos electrónicos. Con el sensor Ultrasónico no se tuvo gran problema para la implementación pues se ubicó en la parte del riel (véase Figura 4-52b), y su electrónica no fue tan rigurosa puesto la alimentación de este fue una batería de 9V , es decir, era totalmente autónomo (véase figura 4-36a y figura 4-36b), Se colocó todo el circuito electrónico en una caja fabricada en madera y se ajustó de tal manera que todo se viera estético(véase figura 4-37a y figura 4-37b).

Con el sensor de Presión si se tuvo que implementar una especie de soporte que consistió en implementar peso en una lámina de madera la cual se le hizo una canaleta para que la manguera que iba conectada al sensor de presión ocupara ese lugar y ahí medir el nivel de la columna de agua(véase figura4-52c), para el circuito electrónico se usaron los elementos básicos de electrónica pero a este si se le toco colocar una alimentación independiente con un adaptador de 5 V que se conectaba a un toma(véase figura4-41a y figura 4-41b), se colocó toda la electrónica en una caja fabricada en madera y se ajustó para que cumpliera con una buena estética(véase figura 4-42a y figura4-42b).

Todos los datos se fueron obteniendo de manera real gracias a la interfaz gráfica realizada usando la herramienta computacional LABVIEW, la cual nos permitió ir guardando los datos que se iban sensando en un archivo .TXT y este presentaba un panel de grafica que iba graficando los datos en tiempo real y se podía apreciar la forma de la ola que se estaba generando y tener una idea de cómo iba a hacer las señales previo a su procesamiento.(véase figura 4-46).

Para el procesamiento de los datos si se tuvieron en cuenta muchos parámetros como fue que las dos pruebas que se hacían en los distintos puntos del canal a distintos porcentajes de las velocidades del generador, se intentó que las señales comenzaran al mismo tiempo y que en los mejores casos las señales se comportaran igual, gracias a la herramienta computacional Matlab este procesamiento de los datos fue de cierto modo más profesional dando el paso a la creación de las gráficas de los espectro de ondas que se generaban (véase código 5) y también las olas ideales que se deberían generar y arrojando las amplitudes y frecuencias de estas graficas ideales(véase código 6 y código 7).

En la tabla **5-1** quedaron registrados todos los datos tomados sin absorbedor , en los distintos puntos del canal de prueba , haciendo un pequeño análisis se puede apreciar cuando se realiza el procesamiento de los datos con el código 6 los cambios son bastante notorios mientras que con el código7 en las distintas velocidades los cambios de una prueba con otra arrojan resultados similares, dando a entender que el código 7 nos arroja las condiciones deseadas teniendo en cuenta que no se cuenta con un método de absorción de la energía de las olas.

En la tabla **5-2** se colocaron los datos tomados a la hora de implementar el absorbedor de olas dejando como resultados unas olas más estables ya que se registraron unas frecuencias muy similares en las pruebas con ambos sensores y con amplitudes también muy cercanas.La implementación del absorbedor de olas fue fundamental ya que los resultados fueron más estables y presentaron comportamiento más esperados y cercanos a la ola ideal que se debería de generar. Cabe resaltar que la limitación del canal de prueba fue un factor que no ayudo en su totalidad pues las dimensiones de este no hacen que las pruebas que se realicen cumplan con lo expuesto en la norma ITTC [13] y no se pueda hacer una comparación con datos previamente registrados, dando como resultado no poseer unas bases notorias para realizar un análisis experimental de Seakeeping.

## 6.2. Recomendaciones

Primeramente, es necesario que se piense en un nuevo diseño para un canal de pruebas, pues el actual presente en la escuela naval Almirante Padilla no cumple con las dimensiones mínimas establecidas en la norma ITTC [13] para así tener mayor posibilidad de verificación teórica y experimental de uso del canal de prueba en los distintos ensayos.

La creación e implementación de un Absorbedor de olas que cumpla con parámetros ideales para la disipación de la energía de las olas creadas por el generador, uno de estos es el uso de un buen material que no sea corrosivo y que sea viable para condiciones de humedad total. Esto permitirá tener más control y estabilidad en las olas y posibles comparaciones con ensayos reales de Seakeeping, el uso de herramientas computacionales como MAXSURF es fundamental a la hora que se desee obtener un error experimental de los ensayos, pero si bien se sabe, se deben tener las mismas condiciones de la simulación para que a la hora de obtener el error experimental este sea de carácter veraz y garantice al investigador un buen análisis de los resultados y a su vez una conclusión sustentada.

Es necesario un buen mantenimiento del mecanismo de generación de olas, evitar toda falla mecánica es importante ya que todo eso podría alterar la creación de las olas y que estas no cumplieran las condiciones verdaderas de una real, En un principio se debe de mirar que las juntas del mecanismo estén bien engrasadas y que no presenten rozamientos y produzca desgastes de los mismos, revisar las correas transmisoras de potencia que conectan los volantes con el rotor del motor , verificar que los dientes de estas no estén desgastados y presenten buen agarre para que al realizar el proceso de transmisión de potencia cumpla con las relaciones y no se involucren factores como deslizamiento y en los peores casos , fallas por rompimiento de las correas.

Por ultimo revisar frecuentemente la electrónica del sistema de adquisición de datos, que siempre cuando se conecte haya comunicación entre la celda de carga y la unidad de mando, mantenimiento de los dispositivos electrónicos, la comunicación del circuito electrónico con el computador, la calibración de los controladores de los motores para evitar una descompensación con el funcionamiento de los motores o no se tenga control de la velocidad de funcionamiento de estos. Dando el paso a un rediseño de la interfaz gráfica presente ya que esta no garantiza al operario las condiciones del oleaje que se va a crear y el valor real de los RPMs de los motores al ser activados y es totalmente importante tener una noción de estos a la hora de hacer las pruebas de experiencias hidronómicas.

## Bibliografía

- [1] CABRERA ANGARITA, FREDY. JIMENEZ MEJIA, JUAN JOSÉ. MENDEZ CIFUENTES, EDGAR ADRIAN. SANCHEZ MUÑIZ, ERICK ALEJANDRO, *Diseño y construcción de un tanque de pruebas de modelos de buques para la armada nacional*. Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero mecánico. Cartagena de indias D.T. y C: Escuela naval de cadetes .^Amirante Padilla”. Facultad de ingeniería naval. 1994.
- [2] TONCEL ZULETA, WILSON DE JESÚS. MÉNDEZ VILLAMIZAR, SHARICAR SHOLANY. MOLINA GONZALES, KEVIN MARTIN, *Modelo de dimensionamiento de un canal hidrodinámico para Colombia*. Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero mecánico. Cartagena de indias D.T. y C: Universidad tecnológica de Bolívar. Facultad de ingeniería. 2012.
- [3] CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE. (23:25-29, de Octubre, 2010: Rio de janeiro, Brasil). *Proposta de dimensionamento de um tanque de provas do tipo reboque com possibilidade de testar embarcações com velocidades de até 40 nós em condições ambientais de escala Beaufort 5*. 2010. 14 p.

- [4] [Citado el 15 de Diciembre de 2016], Disponible en: <http://www.proyectoelectronico.com/medidores/sensor-presion-nivel-agua-presostato.html>
- [5] WAVE PROPAGATION IN SHALLOW WATER *Robert A. Dalrymple, F. ASCE Center for Applied Coastal Research University of Delaware Newark, DE 19716*
- [6] AIRY, G. B., *Tides and Waves, Metropolitan Encyclopedia, 1845*
- [7] CHAKRABARTI, S.K. *Offshore structure modelling. Singapore : World Scientific, c.1994. 470p. (Advanced series on ocean engineering, v. 9).*
- [8] SOUZA, C. A. G. F DE. *Implantação e análise de desempenho de um gerador de ondas tipo placa basculante. Dissertação (Mestrado em Engenharia) EPUSP, São Paulo, 2002. 117 p.*
- [9] MARTINS, J. A. DE A.. *Análise de ondas em tanque de dimensões reduzidas com vistas à engenharia oceânica. Tese (Doutorado) Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da USP-São Paulo, 2003. 188 p.*
- [10] BOUSSINESQ, J. *ESSAI sur la th.<sup>eorie</sup> des eaux courantes. M'em. Pr .<sup>es</sup>. Acad. sci. Paris, 1877*
- [11] DEAN, R. G., *Dalrymple, Water wave mechanisms for engineers and scientists, World Scientific, USA, 1991.*
- [12] SEAKEEPING, *Ship behaviour in rough weather by ARJMLLOYD BSc PhD FEng FRINA 1998*
- [13] 27<sup>TH</sup> INTERNATIONAL TOWING TANK CONFERENCE, *PROCEEDINGS, Copenhagen, DENMARK. 31 – Sep. 5, 2014*
- [14] STOKES, G. G., *On theory Of oscillatory waves, Trans. Camb. Philos. Soc., eng., ASCE, pp. 184-196, 1961*

- [15] GODA, Y. , *Random seas and design of maritime structures*, Scientific World, 2000.
- [16] SACADO Y ADAPTADO DE <http://ciemlab.Upc.Edu/es/instalaciones/ictsciem>
- [17] GHENT UNIVERSITY (2011). *Department of Civil Engineering*, [www.ugent.be/en/coastal/research/physicalwaveflume.pdf](http://www.ugent.be/en/coastal/research/physicalwaveflume.pdf) , Consultado 26 de Agosto de 2011
- [18] INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM (2011), *Laboratorio de Costas y Puertos*, <http://www.iingen.unam.mx/es/mx/Investigación/Coordinación/Procesos> Costeros/Paginas/default.aspx, Consultado 3 de mayo de 2011.
- [19] SACADO Y ADAPTADO DE LA TESIS DE GRADO ” DISEÑO MECÁNICO Y DE CONTROL DE UN DISPOSITIVO GENERADOR DE OLAS “, *Instituto politécnico nacional, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad azcapotzalco*
- [20] TAYLOR, J., REA, M., ROGERS, D. J. , *The Edinburgh Curved Tank*, *Proc 5th Euro Wave Energy Conf.*, Cork, Ireland, pp 307–314, 2003
- [21] SALTER, S. H., *Absorbing wave-maker and wide tanks*, *Proc Directional Wave Spectra Applicant, Am. Soc. Civil Eng.*, pp. 185–202, 1981
- [22] OUSLETT, D, *A survey of wave absorbers*, *J Hydraulic Res* 24, pp. 265–279, 1986
- [23] TOMADO Y ADAPTADO DE <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/en010215>
- [24] HC-SR04, *ultrasonic range finder Manual*
- [25] SRF04, *SRF04 SENSOR DISTANCIAS POR ULTRASONIDOS*, tomado y adaptado de <http://www.superrobotica.com/S320110.htm>
- [26] MPX2010DP, *Temperature Compensated and Calibrated Silicon Pressure Sensors* , tomado de *MPX2010 Series.pdf*

- [27] XBEE®, *S1 802.15.4 RF MODULES Datasheet*
- [28] nRF24L01, *Sacado y adaptado de <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01>*
- [29] PROYECTO ELECTRONICO, *sensor-presion-nivel-agua-presostato.html*
- [30] MP3V5004DP, *Freescale Semiconductor, Inc <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet/pdf/view/255070/FREESCALE/MP3V5004DP.html>*
- [31] COMPONENTES, *Componentes Electronicos basicos, academia/electronica/taller-electronica-artistas/COMPONENTES.html*
- [32] FEDERICO MIYARA, *CONVERSORES DA y AD ,Segunda Edición - Año 2004*
- [33] PROTEUS, *Hubor-Proteus, ¿que es Proteus?, hubor-pro.com/proteus-pcb/proteteusus-pcb/2-proteus.html, **Uso de licencia Institucional de la Escuela Naval Almirante Padilla***
- [34] HW-GROUP, *Hercules utilidades SETUP, <http://www.hw-group.com/products/hercules/index-es.html>*
- [35] MIKROELEKTRONIKA, *Mikroc pro for pic, Software and Hardware solutions for Embedded world, **Uso de Licencia Academica Free***
- [36] NATIONAL INSTRUMENT. Recuperado de: *[www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/environment.htm](http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/environment.htm), **Uso de licencia Institucional de la Universidad Tecnológica de Bolívar***
- [37] PICKIT3, *Programador de PIC sin necesidad de ordenador, [sagitron.com/productos/activos/microchip/203-pickit3-programador-de-pic-sin-necesidad-de-ordenador](http://sagitron.com/productos/activos/microchip/203-pickit3-programador-de-pic-sin-necesidad-de-ordenador)*
- [38] PICKIT2, *Programador de PIC <http://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails>*

- [39] EAGLE, *Sacado y tomado de* <http://www.autodesk.com/products/eagle/overview>
- [40] CCS, *Sacado y adaptado de* <http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compilers>
- [41] MPLAB® *XIntegrated Development Environment (IDE)*, *sacado de* <http://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>
- [42] MONTEJO, M. Capacitor de bypass [Archivo PDF]. Recuperado de: <http://www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/CAPACITBYPA.pdf>
- [43] ELEC FREAKS. Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 [Archivo PDF]. Recuperado de: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
- [44] RAMOS, A. Frequency meter with int0 and timer1 [Código C]. Recuperado de: <https://libstock.mikroe.com/projects/view/1873/frequency-meter-with-int0-and-timer-1>
- [45] Presostato de lavadora.. Recuperado de: <http://www.proyectoelectronico.com/medidores/imagenes/sensor-presostato-lava-ropa.png>
- [46] LLAMAS, L. *Funcionamiento del sensor ultrasónico.* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.luisllamas.es/wp-content/uploads/2015/06/sensor-ultrasonico-explicacion.png> (2015)
- [47] DIGI INTERNATIONAL INC. *.XBee/XBee-PRO RF Modules* [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>. (2009).
- [48] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *.PIC16F688 Data Sheet* [Archivo PDF]. Recuperado de: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41203b.pdf>. (2004).
- [49] FREESCALE SEMICONDUCTOR. (2010). *Integrated Silicon Pressure Sensor, On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated* [Archivo PDF]. Recuperado de: <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/datasheets/MP3V5004G.pdf>. (2010).

- [50] Sensor ultrasónico.[Imagen] Recuperado de:  
[http://www.naylampmechatronics.com/741-thickbox\\_default/sensor-ultrasonido-hc-sr04.jpg](http://www.naylampmechatronics.com/741-thickbox_default/sensor-ultrasonido-hc-sr04.jpg)
- [51] Módulo Xbee.[Imagen] Recuperado de:  
<http://5hertz.com/image/cache/10404-240x240.jpg>
- [52] Componentes de .[Imagen] Recuperado de:  
<http://5hertz.com/image/cache/10404-240x240.jpg> Componentes-presostato-bi
- [53] SAVITZKY, ABRAHAM; GOLAY, MARCEL J.E. ,*Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures*. Analytical Chemistry 36.(1964). p. 1627-1639.
- [54] MATLAB.,*Pulseperiod*. <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/pulseperiod.html>
- [55] MATLAB.,*Statelevels*. <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/statelevels.html>

**Anexo: Pseudocódigo de los programas  
utilizados en el trabajo de grado**

---

**Algoritmo 1:** Algoritmo para la lectura de frecuencias a partir de interrupciones por timer [44].

---

**Entrada:** Señal oscilante proveniente del acondicionamiento de la señal del presostato.

**Salida:** Envío de la señal leída a través de comunicación UART

```
// Paso 0: Declaración e inicialización de variables
globales
1: Definir la variable contador que estará asociada a la función de
interrupción por timer para calcular la frecuencia.
2: Definir la variable Frecuencia en la que se alojará el valor de frecuencia
calculado
// Paso 1: Declaración de funciones
3: Declarar función de interrupción
4: Declarar función main
// Paso 2: configuraciones básicas en la función main
5: Se configuran los registros básicos del microcontrolador: Habilitar
pull-ups, oscilador interno, frecuencia del oscilador, configuración de
interrupción por timer, configuración del timer1, seleccionar el
preescalador del timer,
6: Se configuran los pines para la comunicación UART
7: Se habilitan todas las interrupciones
8: Se configura los baudios de la comunicación UART
9: mientras (True) hacer
10: Envío vía UART la palabra "Frecuencia: "
11: Calculo la frecuencia con:
 $frecuencia = (Clock_kHz() * 1e3) / (contador * 4,0)$ . Donde la función
" $Clock_kHz()$ " Nos arroja la frecuencia de reloj del microcontrolador.
12: Se convierte el valor calculado de la frecuencia en texto.
13: Se envía el valor de la frecuencia en modo texto vía UART
14: Por ultimo se envía "HZ", salto de línea y retorno de carro. El
resultado del mensaje es como el siguiente: "Frecuencia: 12435.54 HZ"
15: Se hace una pausa de 100ms
16: fin mientras
17: fin main
18: Fin del algoritmo
```

---

**Algoritmo 2:** Algoritmo para la lectura de distancia del sensor *HC-SR04* a partir del timer1 .

---

**Entrada:** Retorno de onda ultrasónica

**Salida:** Calculo de distancia

```
// Paso 0: Declaración e inicialización de variables
globales
1: Asignar la palabra Led y Ledr al registro porta.B0 y trisa.B0,
   respectivamente
2: Asignar la palabra Trigger y Triggerr al registro portc.B2 y trisc.B2,
   respectivamente
3: Asignar la palabra Echo y Echor al registro portc.B3 y trisc.B3,
   respectivamente
// Paso 1:Declaración y configuraciones básicas en la
función main
4: Declarar función main
5: Declarar de variables
6: Se configuran los registros básicos del microcontrolador: Habilitar
   pull-ups, oscilador interno, frecuencia del oscilador, configuración del
   timer1, seleccionar el preescalador del timer,
7: Configuración inicial de los pines: Todos los pines digitales y como
   salida.
8: Se configuran los pines para la comunicación UART
9: Se configura los baudios de la comunicación UART
// Paso 2:Declaración del While
10: mientras (True) hacer
11:   Configuración inicial de los 16bits del timer1
12:   Poner en estado alto el pin asociado a Trigger
13:   retardo de 10us
14:   Poner en estado bajo el pin asociado al Trigger
15:   Esperar el retorno de la onda
16:   Calcular el tiempo que demoró desde el objeto hasta el sensor.
17:   Convertir el tiempo en distancia
18:   si (distancia $\geq$ 2 and distancia $\leq$ 400) entonces
19:     Convertir el valor de distancia, dada en centímetros, a texto
20:     Enviar vía UART el valor de la distancia calculada
21:   sino
22:     Enviar mensaje de error.
23:   fin si
24: fin mientras
25: fin main
26: Fin del algoritmo
```

---

---

**Algoritmo 3:** Algoritmo para la lectura del sensor de presión MP3V5004DP.

---

**Entrada:** Señal de voltaje proveniente del sensor MP3V5004DP

**Salida:** Nivel de agua correspondiente al voltaje

```
// Paso 0: Declaración e inicialización de variables
globales
1: Definir la variables: Get, para almacenar la captura analoga; Texto,
para almacenar la conversión de un valor a texto; Voltaje, se almacena
el voltaje calculado; Presión, es el resultado de dividir Voltaje entre
5,9mV.
// Paso 1: Declaración de funciones
2: Declarar función de floattostr
3: Declarar función main
// Paso 2: configuraciones básicas en la función main
4: Se configuran los registros básicos del microcontrolador: Oscilador
interno, frecuencia del oscilador, se asignan valores predeterminados a
los pines I/O,
5: Se configuran los pines para la comunicación UART
6: Se habilitan todas las interrupciones
7: Se configura los baudios de la comunicación UART
8: mientras (True) hacer
9:   Se hace la lectura análoga: Get=ADCRead(2)
10:   se calcula el voltaje asociado a la lectura: Voltaje=(Get*3.3)/1023.0;
11:   Se calcula la presión: presion=voltaje1/0.0059
12:   Se pasa el valor de presión a texto
13:   esta información se envía vía UART al modulo XBEE
14: fin mientras
15: fin main
16: Fin del algoritmo
```

---

---

**Algoritmo 4:** Algoritmo para el muestreo de los datos obtenidos a lo largo del tiempo .

---

**Entrada:** Datos obtenidos en las ensayos experimentales con los sensores.

**Salida:** Gráfica de los valores en distancia obtenidos contra el tiempo

`// Paso 0: cargar los archivos`

- 1: Se hace lectura del archivo ".txt." procesar.
- 2: los valores que se leen del archivo ".txt" se le asignan a una variable, por el nombre de "fid".
- 3: se extraen los datos tipo float alojados en la variable "fidz" se le asignan a otra variable, que se le dio el nombre de "tabla".
- 4: La columna 1 de la variable "tabla", columna que contiene los datos, se guarda y se le asignan a la variable "columna 1".

`// Paso 1: Graficar de los datos`

- 5: Se utiliza la función "plotz" se configura de tal forma que nos muestre de inicio a fin los valores que contenía el archivo ".txt." abierto.
-

---

**Algoritmo 5:** Algoritmo para la interpretación de datos y Obtención de Gráficas correspondientes

---

**Entrada:** Datos obtenidos en las ensayos experimentales con los sensores.

**Salida:** Gráficas Características e ideales de las olas generadas Arrojando su Amplitud y Periodo.

// Paso 0: cargar los archivos

- 1: llamar la Función load con el nombre del archivo .txt generado en los ensayos.
- 2: Definir las variables: fid para abrir el archivo .txt cargado al programa , tabla junto a la función textscan almacena elemento por elemento del archivo .txt en una tabla,
- 3: Se guarda tabla(1) en variable columna para almacenar la columna de salida de la tabla generada.
- 4: este proceso se hará con cada uno de los archivos .txt a utilizar en este caso son dos archivos .txt

// Paso 1: Aplicar filtro a las señales

- 5: Se procede a convertir los datos almacenados en la variable columna que son tipo float a double con la función double y se guardan en una nueva variable llamada columnad
- 6: Se realiza el filtro llamado la función *sgolayfilt* con los Parametros (columnad,3,41) y esta se guarda en la variable columna filtro
- 7: este proceso se hará con cada uno de los archivos .txt a utilizar en este caso son dos archivos .txt

// Paso 2: Alineamiento de Señales

- 8: Se debe encontrar el Retardo (delay) entre las señales generadas por los archivos .txt cargados para ello se llama a la función *finddelay* entre las señales anteriormente filtradas que este caso son dos.
  - 9: Se le hará un ajuste a las señales si se presentase un delay que es quitando cierta parte de las señales para que ambas concuerden al iniciar y estas nuevas señales se guardaran en las variables col1filtoajus y col1filtoajus respectivamente.
-

---

---

**Continuación algoritmo 5**

- 1: Se colocan ambas señales con un nuevo tamaño tomando referencia las nuevas señales generadas y esto se hace posible con las función *Size* estas nuevas señales se almacenan en las variables Tamaniocolfiltroajus y Tamaniocol1filtroajus Respectivamente.
  - 2: Se Guardan las señales Tamaniocolfiltroajus y Tamaniocol1filtroajus en un Vector X luego se procede a sacar la diferencia que hay entre estas dos señales y esa diferencia se guarda en una variable K.
  - 3: **si** (Tamaniocol1*filtroajus* > Tamaniocolfiltroajus) **entonces**
  - 4:   Se resta la variable K a la señal col1filtroajus
  - 5: **sino**
  - 6:   Se resta la variable K a la señal Colfiltroajus
  - 7: **fin si**
  - 8: Se divide cada señal en 4 tramos para poder ver en que tramos las dos señales coinciden mas , Se llama a la Funcion *round* y se guardan en nuevas variables dimension1 y dimension2 Respectivamente.
  - 9: Ahora se guarda cada tramo de cada señal en variables nuevas de la siguiente manera:  
s1a=Col1final(1:dimension1);  
s1b=Col1final(dimension1:2\*dimension1);  
s1c=Col1final(2\*dimension1:3\*dimension1);  
s1d=Col1final(3\*dimension1:end);  
s2a=Colfinal(1:dimension2);  
s2b=Colfinal(dimension2:2\*dimension2);  
s2c=Colfinal(2\*dimension2:3\*dimension2);  
s2d=Colfinal(3\*dimension2:end);
  - 10: Se procede a graficar cada una de las señales haciendo mención a las funciones *Figure* y *Plot*
-

---

**Algoritmo 6:** Algoritmo para el procesamiento de las señales: Calcular amplitud y período - Método 1

---

- 1: **Paso 1: Procesamiento de las señales para la obtención de su Amplitud y Período.**
  - 2: Luego de tomar el tramo donde las señales coincidieron mas estas se proceden a promediar y se guardara en la variable *Spromedio* y sacar el periodo de esta señal promediada Gracias a Función *pulseperiod*
  - 3: Una vez obtenido el periodo se procede a calcular la frecuencia la cual se sacará respecto al el tiempo total de la muestra que son 40ms que seria igual a  $(1000/\text{pulseperiod}(\text{Spromedio}))*40$
  - 4: Se llama a la Funcion *statelevels* que se encarga de determinar los extremos relativos(picos) de la señal, luego se hara la diferencia del Picomax y Picomin y asi se obtendria la Amplitud que se guardara en la Variable *Amplitudt*
  - 5: **Paso 2: Grafica de onda ideal**  
Tamaño del vector correspondiente al eje "x"  
 $\mathbf{x}=\text{linspace}(0,(2*\text{pi})/\text{FrecuenciaN})$   
Ecuación de la función que representa la onda ideal del tramo  
 $\mathbf{y}=\text{AmplitudN}*\sin(((2*\text{pi})*\text{FrecuenciaN})*\mathbf{x})$
  - 6: Se procede a graficar la onda ideal con ayuda de la funcion *Plot*
  - 7: **Fin del algoritmo**
-

---

**Algoritmo 7:** Algoritmo para el procesamiento de las señales: Calcular amplitud y período - Método 2

---

- 1: **Paso 1: Procesamiento de las señales para la obtención de su Amplitud y Periodo.**
  - 2: Luego de tener las dos señales a analizar filtradas, se promedia y obtiene una resultante.
  - 3: Se grafica el resultado con ayuda de la función *Plot* para observar a detalle la onda promedio de las dos señales filtradas
  - 4: **Paso 2:se calcula periodo y amplitud de un tramo de la señal media**
  - 5: Se buscan los primeros 6 picos de la función promedio y se gráfica sobre la señal, recortando la gráfica hasta 10 valor más allá del ultimo pico encontrado.
  - 6: se utiliza la función **hold off** para mantener en espera la gráfica.
  - 7: Se calcula y se grafica sobre la referencia media haciendo uso de la función **midcross** sobre la grafica en espera.
  - 8: Se resaltan los picos encontrados sobre la grafica aun en espera.
  - 9: Se calcula la amplitud media gracias a tener el valor y la ubicación de los picos de al señal.
  - 10: La frecuencia media se calcula teniendo en cuenta las posiciones de cada uno de los picos
  - 11: Posterior mente de grafican y se cierra la espera con un **hold off**
  - 12: **Fin del algoritmo**
-