



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
POSICIONAMIENTO SONAR PARA LA LOCALIZACIÓN DE OBJETOS
EN AMBIENTES ACUÁTICOS

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

AUTOR: RUBÉN DARÍO PAUCAR PAUCAR

TUTORA: ING. MÓNICA ZABALA HARO M.Sc

Riobamba-Ecuador

2018

© 2018, Rubén Darío Paucar Paucar.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD D INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE POSICIONAMIENTO SONAR PARA LA LOCALIZACIÓN DE OBJETOS EN AMBIENTES ACUÁTICOS**, de responsabilidad del señor Rubén Darío Paucar Paucar, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación quedando autorizada su presentación.

DR. JULIO SANTILLAN
VICEDECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ING. PATRICIO ROMERO
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERIA ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES

ING. MÓNICA ZABALA HARO
DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN

ING. DAVID MORENO AVILES
MIEMBRO DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN

Yo, Rubén Darío Paucar Paucar, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación, y el patrimonio de la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Rubén Darío Paucar Paucar

DEDICATORIA

A mis padres, Carlos y Lucrecia por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera profesional, ya que son un pilar fundamental en mi vida y han sido la guía para llegar a culminar mis estudios. A mi familia que de una u otra manera siempre me apoyaron para lograr este éxito, y compartieron conmigo muchas alegrías y fracasos.

A mis hermanos Danilo y Pamela, porque son la razón de sentirme tan orgulloso de culminar mi meta, a mis sobrinos Steven y Antonella por ser parte de mi vida y por permitirme ser parte de su orgullo.

A mis tíos, amigos, compañeros y docentes que durante este tiempo me acompañaron y ayudaron cuando lo necesite ya sea en el ámbito estudiantil como en lo personal.

Rubén Darío

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por otorgarme la vida y la fuerza para lograr todo lo que he anhelado, y por la sabiduría en estos años para poder terminar mi carrera.

El más sincero y profundo agradecimiento a mis padres por su apoyo, fuerza y consejos que siempre me motivaron a seguir adelante, a pesar de cualquier inconveniente nunca dejaron que me dé por vencido. A mis hermanos, mis tíos y toda mi familia por siempre estar siempre unidos apoyándome.

A mi primo Edwin por sus consejos, a mi tío José por su apoyo incondicional, a mis amigos Ismael, Diego, Camila y Juan quienes me apoyaron siempre. A todos mis compañeros y amigos ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

A la Ingeniera Mónica Zabala por ser una inspiración para todo estudiante y enfocarme en la investigación y clarificar mis ideas en el presente trabajo.

Rubén Darío

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	xi
SUMMARY	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1 Sistemas de Posicionamiento Acústico.....	5
<i>1.1.1 Sistema de posicionamiento acústico submarino.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.1.1 Sistema de posicionamiento acústico de línea de base ultra corta (USBL).....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.1.2 Sistema de posicionamiento acústico de línea da base corta (SBL).....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.1.3 Sistema de posicionamiento acústico de línea de base larga (LBL).....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.1.4 Boyas inteligentes GPS (GIB).....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.2 Sistema Pozitioner</i>	<i>8</i>
<i>1.1.3 Sistema Posydon.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.4 Sistemas de mapeo acústico submarino.....</i>	<i>10</i>
<i>1.1.4.1 Sonda de haz simple</i>	<i>10</i>
<i>1.1.4.2 Sonda de haz múltiple</i>	<i>11</i>
<i>1.1.4.3 Sonadas Laterales o side scan SONAR.....</i>	<i>11</i>
1.2 Red de Sensores Inalámbricos Submarinos (UWSN).....	12
1.3 Navegación subacuática autónoma de vehículos	13
<i>1.3.1 GPS.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.2 Unidad de medición inercial (IMU)</i>	<i>14</i>
<i>1.3.3 Brújula de estado sólido.....</i>	<i>14</i>
<i>1.3.4 Velocímetro Doppler de navegación.....</i>	<i>15</i>
<i>1.3.5 Sonar para detección de obstáculos.....</i>	<i>15</i>
<i>1.3.6 Sensor de profundidad</i>	<i>15</i>
1.4 Ondas sonoras.....	16
<i>1.4.1 Definición</i>	<i>16</i>
<i>1.4.2 Parámetros del sonido.....</i>	<i>17</i>
<i>1.4.2.1 Presión del sonido.....</i>	<i>18</i>
<i>1.4.2.2 Velocidad de la partícula del sonido</i>	<i>18</i>
<i>1.4.2.3 Densidad del sonido.....</i>	<i>18</i>
<i>1.4.2.4 Intensidad del sonido</i>	<i>18</i>
<i>1.4.3 Propagación del sonido</i>	<i>19</i>
<i>1.4.4 Comportamiento del sonido</i>	<i>20</i>

1.4.5	Características del sonido	20
1.4.5.1	<i>Onda sinusoidal</i>	20
1.4.5.2	<i>Velocidad del sonido.....</i>	21
1.4.6	Unidades dimensionales.....	22
1.4.7	Unidad de medida del sonido	23
1.4.7.1	<i>El decibelio</i>	23
1.5	Movimiento del sonido	24
1.5.1	Velocidad del sonido en el agua.....	24
1.5.1.1	<i>La aproximación de Medwin.....</i>	25
1.5.1.2	<i>La aproximación de Mackenzie</i>	26
1.5.1.3	<i>La aproximación de Del Grosso</i>	26
1.6	Factores que alteran la velocidad en el agua.....	27
1.6.1	<i>La temperatura</i>	27
1.6.2	<i>La salinidad del agua</i>	28
1.6.3	<i>La densidad del agua.....</i>	29
1.7	Perfil de la velocidad del sonido	30
1.8	Ley de Snell	31
1.8.1	<i>Reflexión.....</i>	32
1.8.1.1	<i>Fenómenos relacionados con la reflexión</i>	33
1.8.2	<i>Refracción.....</i>	33
1.8.3	<i>Scattering o Dispersión</i>	34
1.9	EL SONAR	34
1.9.1	<i>Tipos de SONAR.....</i>	34
1.9.1.1	<i>El SONAR activo.....</i>	34
1.9.1.2	<i>El SONAR pasivo</i>	35
1.9.2	<i>Aplicaciones del SONAR.....</i>	36
1.9.3	<i>Ecuación del SONAR.....</i>	36
1.9.3.1	<i>Ecuación del SONAR Activo</i>	37
1.9.3.2	<i>Ecuación del SONAR Pasivo</i>	38
1.9.4	<i>Umbral de detección del SONAR.....</i>	39
1.10	Aplicaciones del SONAR.....	40
1.10.1	<i>Primeros sistemas</i>	40
1.10.2	<i>Batimetría</i>	41
1.10.3	<i>Funcionamiento de un ecolocalizador</i>	41
1.10.4	<i>Método de análisis</i>	42
1.10.4.1	<i>Tiempo de vuelo TOF (time of flight).....</i>	42
1.10.4.2	<i>Métodos de estimación del TOF</i>	42

CAPÍTULO II

2	MARCO METODOLÓGICO.....	44
2.1	Diseño metodológico.....	44
2.2	Escenario	44
2.2.1	<i>Escenario A</i>	<i>44</i>
2.2.2	<i>Escenario B</i>	<i>45</i>
2.2.3	<i>Escenario C</i>	<i>46</i>
2.3	Selección del dispositivo de posicionamiento bajo el agua.....	48
2.3.1	<i>Tikitaka sonda</i>	<i>48</i>
2.3.2	<i>iBobber.....</i>	<i>49</i>
2.3.3	<i>Lucky ffw1108</i>	<i>49</i>
2.3.4	<i>Kupet.....</i>	<i>50</i>
2.3.5	<i>Fish Finder.....</i>	<i>50</i>
2.3.6	<i>Lawrence HDS-7.....</i>	<i>51</i>
2.4	Dispositivo iBobber	52
2.4.1	<i>El Transductor.....</i>	<i>53</i>
2.4.1.1	<i>Patrón de directividad del transductor</i>	<i>53</i>
2.4.2	<i>Conexión entre iBobber y un dispositivo.....</i>	<i>55</i>
2.5	Datos observados (muestreados)	56
2.5.1	<i>Escenario A</i>	<i>57</i>
2.5.2	<i>Escenario B</i>	<i>59</i>
2.5.3	<i>Escenario C</i>	<i>61</i>
2.6	Datos obtenidos con el dispositivo iBobber.	65
2.6.1	<i>Escenario A, datos obtenidos con la App.</i>	<i>65</i>
2.6.2	<i>Escenario B, datos obtenidos con la App.</i>	<i>67</i>
2.6.3	<i>Escenario C, datos obtenidos con la App.</i>	<i>69</i>
2.7	Datos obtenidos al introducir el objeto.....	73
2.7.1	<i>Escenario A con un objeto</i>	<i>73</i>
2.7.2	<i>Escenario B con un objeto</i>	<i>76</i>
2.7.3	<i>Escenario C con un objeto</i>	<i>79</i>
2.8	Datos tomadas en los 3 escenarios bajo la misma condicion de profundidad.	81
2.8.1	<i>Datos tomados a una distancia de 0.49 metros.</i>	<i>81</i>
2.8.2	<i>Datos tomados a una distancia de 0.75 metros.</i>	<i>83</i>
2.9	Diseño de un marco de georeferenciación para el posicionamiento acuático de objetos	84

CAPÍTULO III

3	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	90
3.1	Resultados alcanzados en los diferentes escenarios.....	91
3.2	Resultados alcanzados en los diferentes escenarios al insertar un objeto	92
3.3	Resultados obtenidos al insertar un objeto a 0.49 metros y 0.75 metros.	93

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el estudio y el análisis del posicionamiento de objetos mediante la tecnología SONAR, la cual permite ubicar objetos a través de ondas sonoras utilizando la técnica de ecolocalización. Para realizar las pruebas de posicionamiento se utilizó tres escenarios diferentes, en donde la temperatura, la salinidad y la profundidad de los mismos variaban y con ellos se pudo evaluar los cambios que presenta las ondas sonoras en cada uno de los escenarios. Se utilizó el dispositivo de ecolocalización iBobber, el cual trabaja con una frecuencia de 118 KHz y tiene un ancho de haz con una radiación de 42° lo cual puede alcanzar una profundidad de 40 metros y la radiación producida en el fondo tiene un diámetro máximo de 74 metros. El dispositivo se puede conectar con un celular a través de la tecnología bluetooth donde se recolecta los datos de posicionamiento. Mediante instrumentos de medición de longitud y de temperatura se recopiló diferentes datos y se comparó con los obtenidos con iBobber, y se demostró la fiabilidad que tiene el dispositivo con los observados. El error al medir la distancia existente entre el dispositivo y un objeto es de 10 centímetros, lo que lo hace confiable. Por las características detalladas este sistema de posicionamiento representa ser una herramienta de ayuda para la ubicación de objetos en diferentes escenarios, lo que permitiría darle un gran uso en diferentes ámbitos de localización bajo el agua. Se concluye que se puede hacer uso de la tecnología SONAR para posicionar objetos, en diferentes ambientes acuáticos, pero, esta tecnología presenta ciertas desventajas y limitaciones, ya que el alcance de un SONAR depende mucho de la frecuencia y el ancho del haz que tenga el transductor del dispositivo, por eso es recomendable hacer un estudio previo de las características del medio.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <SOUND NAVIGATION AND RANGING (SONAR)>, <POSICIONAMIENTO>, <INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN>, <SENSOR DE TEMPERATURA>, <DISPOSITIVO IBOBBER>.

SUMMARY

In the current work, it was developed the study and positioning analysis of objects by means of SONAR technology, which allows us locate objects through soundwaves using the eco localization technique. To carry out the positioning test, three different scenarios were used in which their temperature, salinity and depth varied and with them, being able to evaluate the changes the wave sounds present in each of the scenarios. The iBobber eco localization device was used, which works with a 118 KHz frequency and a radiation beam width of 42° which allows us to reach a depth of 40 meters and the radiation produced in the bottom has a maximum diameter of 74 meters, the device can be connected to a cellphone by means of Bluetooth technology where positioning data can be collected. Through length and temperature measurement instruments, different data were gathered and then compared with the ones obtained with iBobber, and with the data observed, it was demonstrated the reliability of the device. The error when measuring the existing distance between the device and an object is 10 cm which makes it pretty reliable. For the features detailed, this positioning system turns to be a supporting tool for the localization of objects in different scenarios, which will allow giving it a vast use in different localization environments under water. It is concluded that SONAR technology can be used for positioning objects in different aquatic environments, but this technology presents certain disadvantages and constrains since the scope SONAR reaches depends on the frequency and beam width the device transducer has; therefore, it is recommended to develop a prior study with the features of the environment and the devices.

Keywords: <ENGINEERING AND SCIENCE ENGINEERING>, <TELECOMMUNICATIONS>, <SOUND NAVIGATION AND RANGING (SONAR)>, <POSITIONING>, <MEASUREMENT INSTRUMENTS>, <TEMPERATURE SENSOR>, <IBOBBER DEVICE>.

INDICE DE ABREVIATURAS

ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
SONAR	SOund Navigation And Ranging
USBL	Ultra-Short Base Line (sistema de posicionamiento acústico de línea de base ultra corta)
SBL	Short Base line (sistema de posicionamiento acústico de línea de base corta)
LBL	Long Base Line (sistema de posicionamiento acústico de línea de base larga)
GPS	Global Positioning System (sistema de posicionamiento global)
GIB	GPS Intelligent Buoys (Boyas inteligentes GPS)
TOF	Time of Flight (Tiempo de vuelo)
SL	Nivel de la Fuente (Source Level)
TL	Perdida de Transmisión (Transmission Loss)
NL	Nivel de Ruido (Noise Level)
SNR	Relación Señal-Ruido (Signal-to-Noise Ratio)
AG	Ganancia del Sistema (Array Gain)
TS	Intensidad del Objeto (Target Strenght)
SE	Exceso de Señal (Signal Excess)
SE	Umbral de Detección (Detection Threshold)
Hz	Hercios
m	Metros
seg	Segundos
t	Tiempo
ft	Feet
cm	Centímetros

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Tipos de Sistemas de posicionamiento.....	6
Tabla 2-1:	Comparación entre medios de comunicación UWSN	12
Tabla 3-1:	Diferencia entre onda transversal y longitudinal	17
Tabla 4-1:	Valores típicos de parámetros acústicos en aire y agua.....	22
Tabla 5-1:	Propiedades dimensionales y unidades utilizadas en acústica.....	22
Tabla 6-1:	Tabla logarítmica base 10.....	23
Tabla 7-1:	Rangos de temperatura, profundidad y salinidad para el cálculo de la.....	25
Tabla 8-1:	Temperatura en diferentes puntos del planeta	27
Tabla 9-1:	Relación entre salinidad y temperatura.	29
Tabla 10-1:	Variación aprox. de la velocidad del sonido.....	30
Tabla 1-2:	Características de los dispositivos SONAR´s.....	51
Tabla 2-2:	Ponderación para elegir el dispositivo que se utilizara.....	52
Tabla 3-2:	Características de las ecuaciones de la velocidad del sonido.	56
Tabla 4-2:	Ponderación de las ecuaciones para el cálculo de la velocidad del sonido.....	56
Tabla 5-2:	Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario A.....	59
Tabla 6-2:	Datos calculados, basados en los parámetros del escenario A	59
Tabla 7-2:	Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario B	61
Tabla 8-2:	Datos calculados, basados en los parámetros del escenario B.....	61
Tabla 9-2:	Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario C - Punto A.....	63
Tabla 10-2:	Datos calculados, basados en los parámetros del escenario C - Punto A	63
Tabla 11-2:	Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario C - Punto B.....	64
Tabla 12-2:	Datos calculados, basados en los parámetros del escenario C - Punto B	64
Tabla 13-2:	Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario C - Punto C.....	64
Tabla 14-2:	Datos calculados, basados en los parámetros del escenario C - Punto A	65
Tabla 15-2:	Muestras tomadas en el escenario A.....	66
Tabla 16-2:	Parámetros medidos con la App. de iBobber en el escenario A.....	67
Tabla 17-2:	Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos del escenario A.....	67
Tabla 18-2:	Muestras tomadas en el escenario B.....	68
Tabla 19-2:	Parámetros medidos con la App. de iBobber del escenario B.....	69
Tabla 20-2:	Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos del escenario B	69
Tabla 21-2:	Muestras tomadas del escenario C en los tres puntos.....	70
Tabla 22-2:	Parámetros medidos con la App. de iBobber en el escenario C - Punto A.....	70
Tabla 23-2:	Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario C - Punto A.....	71

Tabla 24-2: Parámetros medidos con la App. de iBobber en el escenario C - Punto B.....	71
Tabla 25-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario C – Punto B.....	72
Tabla 26-2: Parámetros medidos con la App. de iBobber en el escenario C - Punto C.....	72
Tabla 27-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario C – Punto C.....	73
Tabla 28-2: Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario A y el objeto	74
Tabla 29-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario A y el objeto.....	74
Tabla 30-2: Muestras tomadas al insertar un objeto en el escenario A.....	75
Tabla 31-2: Parámetros obtenidos en la App. en el escenario A y el objeto.....	76
Tabla 32-2: Datos calculados, basados en los parámetros del escenario A y el objeto.....	76
Tabla 33-2: Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario B y el objeto	77
Tabla 34-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario B y el objeto.....	77
Tabla 35-2: Muestras tomadas al insertar un objeto en el escenario B	78
Tabla 36-2: Parámetros obtenidos en la App. en el escenario B y el objeto.....	78
Tabla 37-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario B y el objeto.....	78
Tabla 38-2: Parámetros medidos con el instrumento en el escenario C y el objeto.....	79
Tabla 39-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario C y el objeto.....	79
Tabla 40-2: Muestras tomadas al insertar un objeto en el escenario C.....	80
Tabla 41-2: Parámetros obtenidos en la App. en el escenario C y el objeto.....	81
Tabla 42-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario C y el objeto.....	81
Tabla 43-2: Muestras tomadas al ubicar un objeto a 0.49 metros en los 3 escenarios.....	82
Tabla 44-2: Muestras tomadas al ubicar un objeto a 0.75 metros en los 3 escenarios.....	83
Tabla 45-2: Porcentaje de la piscina cubierta con un dispositivo	87
Tabla 46-2: Porcentaje de la piscina cubierta con un dispositivo.	88
Tabla 47-2: Porcentaje de la piscina cubierto con dos dispositivos.....	90
Tabla 1-3: Diferencia existente en el escenario A	91
Tabla 2-3: Diferencia existente en el escenario B.....	91
Tabla 3-3: Diferencia existente en el escenario C – Punto A.	91
Tabla 4-3: Diferencia existente en el escenario C – Punto B.....	92
Tabla 5-3: Diferencia existente en el escenario C – Punto C.....	92
Tabla 6-3: Diferencia existente al insertar un objeto en el escenario A.....	92

Tabla 7-3: Diferencia existente al insertar un objeto en el escenario B.....	93
Tabla 8-3: Diferencia existente al insertar un objeto en el escenario C.....	93
Tabla 9-3: Diferencia existente al insertar un objeto a 0.49 m de distancia en los tres escenarios	91
Tabla 10-3: Cálculo de la velocidad del sonido mediante la fórmula de Medwin con el objeto a 0.49 m.	93
Tabla 11-3: Diferencia existente al insertar un objeto a 0.75 m de distancia en los tres escenarios	92
Tabla 12-3: Cálculo de la velocidad del sonido mediante la fórmula de Medwin con el objeto a 0.75 m.	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Posicionamiento Acústico.....	5
Figura 2-1:	Sistema de posicionamiento SBL	7
Figura 3-1:	Sistema de posicionamiento LBL	7
Figura 4-1:	Sistema de posicionamiento Pozitioner.....	9
Figura 5-1:	Sistema de posicionamiento POSYDON.....	9
Figura 6-1:	Sonda de haz simple.....	10
Figura 7-1:	Sonda multihaz o haz simple	11
Figura 8-1:	Funcionamiento de la sonda Lateral	12
Figura 9-1:	Navegación subacuática de vehículos autónomos	13
Figura 10-1:	Sistema GPS para posicionamiento marino	14
Figura 11-1:	Unidad de medición inercial	14
Figura 12-1:	Detector de obstáculos en AUV.....	15
Figura 13-1:	Sensor de profundidad en AUV.....	16
Figura 14-1:	Vibración de las partículas en un medio	17
Figura 15-1:	Diferencia de intensidad de una onda acústica	19
Figura 17-1:	Vibraciones físicas en un Diapasón	19
Figura 18-1:	Representación de la propagación del sonido.....	20
Figura 19-1:	Onda sinusoidal.....	21
Figura 20-1:	Velocidad del sonido en el agua	24
Figura 21-1:	Velocidad del sonido dependiente de la temperatura.....	28
Figura 22-1:	Salinidad en todas las regiones del globo	29
Figura 23-1:	Perfil de Velocidad del Sonido	30
Figura 24-1:	Refracción de rayo en dos medios	31
Figura 25-1:	Refracción de un rayo en diferentes medios	32
Figura 26-1:	Reflexión de una onda de sonido	32
Figura 27-1:	Refracción de una onda de sonido	33
Figura 28-1:	Ondas sonoras de un sonar activo	34
Figura 29-1:	Funcionamiento de un sonar activo	35
Figura 30-1:	Funcionamiento de un sonar pasivo.....	35
Figura 31-1:	Parámetros de ecosonda y SONAR	37
Figura 32-1:	Diagrama básico de un Ecolocalizador.....	41
Figura 1-2:	Medidas del escenario A.....	45
Figura 2-2:	Ubicación de la piscina de la ESPOCH obtenida de Google Maps.	45
Figura 3-2:	Piscina de la ESPOCH parte posterior.....	46

Figura 4-2:	Piscina de la ESPOCH parte interior.	46
Figura 5-2:	Laguna artificial del parque Olmedo.	47
Figura 6-2:	Laguna artificial del parque Olmedo.	47
Figura 7-2:	Dispositivo Tikitaka SONAR inalámbrico.	48
Figura 8-2:	Dispositivo SONAR iBobber.....	49
Figura 9-2:	Dispositivo SONAR Lucky.	49
Figura 10-2:	Dispositivo SONAR Kupet.....	50
Figura 11-2:	Dispositivo Fish Finder.....	50
Figura 12-2:	Sonda Lawrence.....	51
Figura 13-2:	Detección de objetos por medio de un transductor	53
Figura 14-2:	Patrón de Directividad del dispositivo iBobber.	54
Figura 15-2:	Vista tridimensional de las coordenadas del patrón de directividad	54
Figura 16-2:	Vista tridimensional del patrón de directividad	55
Figura 17-2:	Conexión entre iBobber y el celular.	55
Figura 18-2:	Temperatura del agua del escenario A.....	57
Figura 19-2:	Conductividad del escenario A.	58
Figura 20-2:	Medida de la profundidad del escenario A.	58
Figura 21-2:	Profundidad de la Piscina de la ESPOCH.....	59
Figura 22-2:	Conductividad de la piscina de la ESPOCH.	60
Figura 23-2:	Temperatura de la piscina de la ESPOCH.	60
Figura 24-2:	Temperatura de la laguna del parque Olmedo.	61
Figura 25-2:	Conductividad del escenario A.....	62
Figura 26-2:	Puntos de prueba en la laguna del Parque Infantil	62
Figura 27-2:	Profundidad del punto A de la laguna del parque Olmedo.	62
Figura 28-2:	Profundidad del punto B de la laguna del parque Olmedo.	63
Figura 29-2:	Profundidad del punto C de la laguna del parque Olmedo.	64
Figura 30-2:	Temperatura del Escenario A.....	65
Figura 31-2:	Profundidad del Escenario A.	65
Figura 32-2:	Temperatura del Escenario B.....	67
Figura 33-2:	Profundidad del Escenario B.....	68
Figura 34-2:	Temperatura del Escenario C.....	69
Figura 35-2:	Profundidad del Esc. C-Punto A.....	69
Figura 36-2:	Profundidad del Esc. C-Punto B.....	70
Figura 37-2:	Profundidad del Esc. C-Punto C.....	71
Figura 38-2:	Profundidad del objeto en el escenario A.	72
Figura 39-2:	Profundidad del objeto tomada con la App. de iBobber en el escenario A.....	73
Figura 40-2:	Profundidad del objeto en el escenario B.....	74

Figura 41-2: Profundidad del objeto tomada con la App. de iBobber en el escenario B.....	75
Figura 42-2: Profundidad del objeto en el escenario C.....	77
Figura 43-2: Profundidad del objeto tomada con la App. de iBobber en el escenario C.....	78
Figura 44-2: Medición del objeto a 49 cm en los tres escenarios	79
Figura 45-2: Medición del objeto a 75 cm en los tres escenarios	80
Figura 46-2: Diseño de la piscina de la ESPOCH en AUTOCAD	85
Figura 47-2: Características de radiación del dispositivo iBobber.	86
Figura 48-2: Área de radiacion con el dispositivo en la mitad de la piscina.	87
Figura 49-2: Área de radiacion con un dispositivo plano isométrico.	87
Figura 50-2: Área de radiacion con el dispositivo en un costado de la piscina.	85
Figura 51-2: Área de radiacion del dispositivo plano isometrico.	85
Figura 52-2: Área de radiacion con dos dispositivos en un costado de la piscina.	86
Figura 53-2: Área de radiación que cubre cada uno de los dispositivos.....	86

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Datos Obtenidos en los 3 escenarios ubicando el objeto a 0.49 m.....	91
Gráfico 2-3: Datos Obtenidos en los 3 escenarios ubicando el objeto a 0.49 m.....	93

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Desde que el hombre incursiono en el mar, siempre quiso saber cuál es su ubicación y más aún cuando se dio cuenta que el mar cubría las tres cuartas partes de un planeta que todavía era desconocido para el ser humano, y que bajo este extenso territorio existía nuevas formas de comunicación. El ser humano en su afán de gobernar este extenso territorio desarrollo sofisticadas técnicas de ubicación y referenciación como es el caso de la navegación Loxodrómica y Ortodrómica. Con el tiempo aparecería la navegación Astronómica que fue utilizada por piratas y marineros por varios años. (Ibáñez Fernández, 2011, p. 210)

Con la aparición de las calculadoras y computadoras electrónicas a finales del siglo XX, apareció una nueva técnica de navegación, el GPS, que convirtió la navegación astronómica en algo obsoleto.

Cuando el ser humano se proclamó amo y soberano de los mares, tan solo por conocer su posición en el mismo, surgió nuevos problemas en la navegación, la mayoría de veces encallaba ya que desconocía muy poco acerca de la superficie marina o en ocasiones por trazar nuevas rutas marítimas chocaba contra icebergs que se cruzaban en la ruta de viaje. El evento más trascendental es el que le ocurrió al Titánic, en 1912 en el Océano Atlántico.

Entonces nació la necesidad de tener un sistema que permita comunicarse o detecte icebergs. La primera patente del mundo sobre un dispositivo que permitía enviar sonidos utilizando el agua como medio de comunicación fue concedida por la Oficina Británica de Patentes al meteorólogo inglés Lewis Richardson un mes después del hundimiento del Titánic, y el físico alemán Alexander Behm obtuvo otro sistema que utilizaba un resonador en 1913.

El ingeniero canadiense Reginald Fessenden construyó un sistema experimental en 1914 que podía detectar un iceberg a dos millas de distancia. Si bien era incapaz de determinar en qué dirección se hallaba, era muy eficaz para mantener alerta a los vigías.

Un paso importante que dio el estudio de los sonares fue durante la Primera Guerra Mundial (1914 - 1918) en donde se hizo evidente la necesidad de desarrollar tecnologías que permitan detectar y eludir la amenaza submarina. A finales de esta guerra este tipo de tecnología quedó relegada, pero en la Segunda Guerra Mundial (1939 - 1945) se volvió a retomar el estudio de esta técnica, que usa la propagación del sonido bajo el agua.

Al inicio de la Segunda Guerra Mundial la tecnología británica de sonar fue transferida a los Estados Unidos. La investigación sobre el sonar y el sonido submarino se ampliaron enormemente, particularmente en este país. Se desarrollaron muchos tipos de sonar militar, entre ellos las sonoboyas, el sonar sumergible y sonar para la detección de minas. (Santos, 2018)

Este trabajo formó la base para el desarrollo de este sistema y mediante esto contrarrestar los submarinos nucleares. El sonar siguió desarrollándose en muchos países para usos tanto militares como civiles. En los últimos años la mayoría de los desarrollos militares han estado centrados en los sistemas activos de baja frecuencia.

El Ecuador tiene 2 submarinos, los cuales poseen sonares para la detección y protección de la soberanía de nuestro país, el Shyri SS-01 y su hermano gemelo el Huancavilca SS-02 que son propiedad de la Armada del Ecuador. Estos submarinos pertenecen al país desde 1978 y permanecen atracados en el muelle de la Base Naval Sur de Guayaquil cuando no se encuentran en servicio. Además se cuenta con una Patrullera guardacostas y BAE (Buque de la Armada del Ecuador) presidente Alfaro, Moran Valverde, entre otros, su buque insignia es el Buque Escuela Guayas. (El Universo, 2017)

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo afecta la salinidad y la temperatura en el posicionamiento de objetos en ambientes acuáticos utilizando la tecnología SONAR?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuál es el propósito de diseñar e implementar un sistema de posicionamiento sonar?
- ¿Cuál de las técnicas de posicionamientos submarinos existentes es la que mejor se adapta a los requisitos planteados?
- ¿La implementación del prototipo de posicionamiento sonar cumple con los requerimientos y objetivos iniciales de la investigación?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Cada vez que la humanidad ha dado pasos enormes en el avance tecnológico, la mayoría de veces ha sido para mejorar el estilo de vida de las personas, o para reducir el tiempo de las tareas y sin utilizar muchos recursos. El uso de sonares en la marina ha dado grandes avances en la

navegación, lo que ha permitido un mejor uso de este medio de comunicación para el desarrollo de la humanidad.

Cuando una tripulación se encuentra en un submarino, para ellos es un punto a favor si pueden conocer su posición y cuál es el rumbo que están siguiendo y en ocasiones estos puntos ayudara a tener una idea de la ruta posible que se puede tener si en algún momento falla los sofisticados equipos de navegación que poseen, y si se tratase de un vehículo no tripulado o un dispositivo autónomo, para estos objetos será importante detectarlos para poder llegar a ellos y de esta forma no se llegara a perder estos dispositivos.

La armada de los Estados Unidos desde que comenzó a investigar a profundidad sobre el sonar siempre le ha dado usos militares, pero después de la Segunda Guerra Mundial esta tecnología ha sido de uso civil teniendo varias aplicaciones como, por ejemplo, es usado en la pesca (sirve para detectar bancos de peces), para medir el espesor del hielo, en la búsqueda de personas.

Con el propósito de aportar en la detección de objetos sumergidos que se encuentren en un área determinada, se busca con este trabajo crear un sistema que permita posicionar objetos, mediante el uso de la tecnología SONAR. Esta tecnología permite localizar objetos a diferentes distancias y diferentes parámetros que ofrezca el medio en el cual se propaga el sonido. Todo esto está acorde a la línea de investigación que maneja la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

La tecnología sonar presenta varios usos en la actualidad, entre ellas el uso de las ondas sonoras en la pesca (sirve para detectar bancos de peces), para medir el espesor del hielo, en la búsqueda y rescate de personas, el posicionamiento y detección de submarinos y para el trazado de la corteza marina, es así que, con el fin de hacer uso de esta tecnología se ha definido dar solución al problema planteado en este proyecto.

El objetivo del proyecto es desarrollar un sistema capaz de posicionar un objeto, no solamente en distancia, sino también en dirección con respecto a un origen fijado. Para el desarrollo de este prototipo se ha aplicara conceptos y técnicas ampliamente utilizadas en el campo de las ondas sonoras.

El procedimiento que se utilizara para el cálculo de la distancia se basa en la emisión de un pulso, activando simultáneamente un contador de tiempo. El pulso es reflejado en el objeto y será detectado en el receptor. En ese instante se detiene el contador y mediante la simple fórmula

$d=v*t/2$ (d: distancia, v: velocidad de propagación, t: tiempo medido por el contador) se determina la distancia al objeto.

Para recibir la posición en la que se encuentre el objeto será de la siguiente manera, el dispositivo envía ondas sonoras, que se transmitirán por el agua, estas ondas siguen una trayectoria rectilínea hasta que chocan con algún objeto. En ese momento rebotan formando un eco y pasando a llamarse ondas de retorno. El transductor recibe las ondas de retorno y las convierte en señales eléctricas que forman una imagen en un monitor.

En función del tiempo que ha tardado la onda en rebotar y la velocidad de propagación de las ondas sonoras en el agua, se calcula la distancia a la que la onda ha rebotado, y por tanto, la distancia a la que se encuentra un objeto.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar e implementar un marco de posicionamiento sonar para la localización de objetos en ambientes acuáticos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el estudio del arte de la tecnología SONAR incluyendo sistemas de comunicaciones acuáticas, y sus modos de operación.
- Diseñar e implementar un marco de posicionamiento acuático por medio de la tecnología SONAR.
- Identificar la ubicación del objeto en diferentes medios acuáticos y evaluar la precisión alcanzada por el sistema.
- Determinar las limitaciones y alcances de posicionamiento del prototipo.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

A continuación, se realiza el estado del arte sobre el posicionamiento subacuático, el sonido en el agua y además se realiza una investigación sobre la tecnología SONAR.

1.1 Sistemas de Posicionamiento Acústico

Un sistema de posicionamiento como su nombre lo indica es un método para identificar y grabar de forma electrónica la ubicación de un objeto o persona. Además, puede ser usado para registrar el recorrido de un vehículo a través de la superficie terrestre en el aire, el mar o en el espacio. (von Martini, Bragachini y Bianchini, 1999, p. 1)

Los sistemas de posicionamiento acústico permiten determinar la posición de robots en x-y-z. Estos sistemas se basan en dos dispositivos que reciben y emiten señales acústicas, estos son el transceptor y transpondedor. El transceptor está montado en el robot submarino y los transpondedores están ubicados en sitios cuya ubicación es conocida. El transceptor envía una señal acústica que es recibida por al menos tres transpondedores.

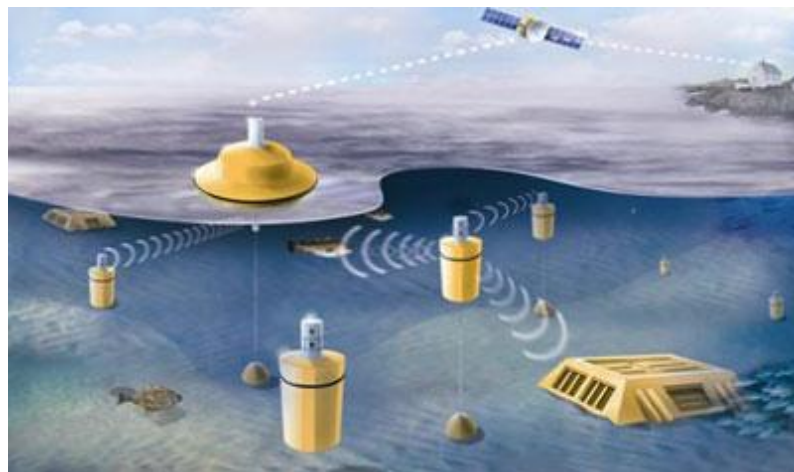


Figura 1-1: Posicionamiento Acústico

Fuente: <http://www.mardechile.cl>

Los transpondedores responden a esta señal, emitiendo otra señal acústica (que los identifica a cada uno) que recibe el transceptor. La distancia a cada transpondedor se mide a partir del tiempo en que se tarda en llegar la señal acústica. Mediante triangulación se determina la posición del

robot. Existen tres tipos de sistemas de posicionamiento acústico (los cuales se diferencian por la distancia que hay entre ellos), estos son: Sistemas de Base Larga (LBL, por Long Baseline System), Sistemas de Base Corta (SBL, por Short Baseline System), y Sistemas de Base Ultra-Corta (USBL, por Ultra Short-Baseline System). (Moreno et al., 2014, p. 5)

1.1.1 Sistema de posicionamiento acústico submarino

Los sistemas de posicionamiento acústicos están compuestos por un transmisor y un receptor. El transmisor envía un pulso y después de un determinado tiempo el pulso es escuchado por el receptor permitiendo calcular la posición de un objeto. El posicionamiento bajo el agua y los sistemas de navegación utilizan tres principios diferentes para la medición y cálculos los cuales se caracterizan por la longitud de sus líneas bases. (Gutierrez, 2013, p. 15)

Estos sistemas de posicionamiento pueden dar una precisión de unos metros hasta unos pocos centímetros, el rendimiento depende del tipo, el modelo y la calidad del sistema, además de las características del entorno acústico bajo el agua.

Tabla 1-1: Tipos de Sistemas de Posicionamiento.

Sistema Posicionamiento	Distancia
USBL	< 10 cm
SBL	20 - 50 m
LBL	100 – 6000 m

Fuente: (Gutierrez, 2013, p. 15)

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018

1.1.1.1 Sistema de posicionamiento acústico de línea de base ultra corta (USBL)

El sistema USBL (Ultra-Short Base Line) opera en cualquier ambiente bajo el agua. Está compuesto por un transmisor-receptor el cual está montado en un poste de un barco y un transpondedor que puede ser un domo o un ROV. Para el cálculo de una posición submarina el USBL calcula la distancia y el ángulo.

Este sistema de posicionamiento requiere técnicas avanzadas en el procesamiento de las señales. Se debe conocer la verdadera posición y la altura del transductor con precisión para calcular la

posición absoluta del objeto. El sistema USBL es usado frecuentemente ya que tienen un costo relativamente moderado y son muy sencillos de manejar diferencia de otros sistemas. (Moreno, 2013, p. 4)

1.1.1.2 Sistema de posicionamiento acústico de línea da base corta (SBL)

El sistema SBL (Short Base Line) está compuesto por más de tres transductores conectados a una caja central mediante un cable. La posición se calcula en tiempo real, las señales acústicas enviadas en el agua son captadas por las boyas donde se encuentran los transductores. Este sistema es utilizado para rastrear buzos y vehículos submarinos. (Milne, 2007)

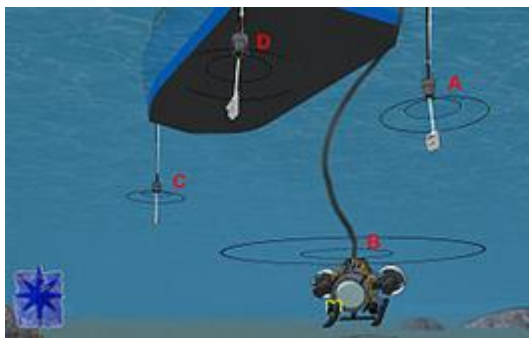


Figura 2-1: Sistema de posicionamiento SBL

Fuente: <http://copro.com.ar>

1.1.1.3 Sistema de posicionamiento acústico de línea de base larga (LBL)

El sistema LBL (Long Base Line) es muy importante debido a que ofrece una alta precisión en el posicionamiento independientemente de la profundidad del agua. Este sistema es utilizado cuando las condiciones bajo el agua requieren una precisión o una exactitud de la posición de los buques.



Figura 3-1: Sistema de posicionamiento LBL

Fuente: <http://2.bp.blogspot.com>

Los transpondedores envían señales al receptor el cual mediante un algoritmo y una triangulación ubica el objeto bajo el agua en el caso de la imagen 27-1 un buzo. Este sistema puede ser utilizado con dos transpondedores, pero mientras mayor sea el uso de los transpondedores aumenta la precisión del sistema. (Vegas, 2016, pp. 28-31)

1.1.1.4 Boyas inteligentes GPS (GIB)

Los sistemas GIB (GPS Intelligent Buoys) consiste en un conjunto de boyas de superficie con receptores GPS e hidrófonos sumergidos. La posición es calculada en tiempo real, por el tiempo de llegada de las señales acústicas enviadas desde el dispositivo submarino a la superficie las cuales son recibidas por las boyas. Esta configuración hace que el sistema sea rápido permitiendo obtener una precisión similar a los sistemas LBL.

Las señales acústicas van en un solo sentido (desde el emisor a las boyas) haciendo que el sistema sea menos sensible a reflexiones y distorsiones de la señal, algo que no sucede con los sistemas LBL, SBL y USBL.

Este tipo de sistema es muy utilizado para rastrear vehículos autónomos submarinos, torpedos, buzos, además se puede utilizar para localizar cajas negras de aviones, determinar las coordenadas de impacto de armas o bien sea para propósito de prueba y entrenamiento militar. Los costes de operación se reducen ya que no necesitan ser colocados ni calibrados en un barco. (Barroso y Estrada, 2015, p. 10)

1.1.2 Sistema Pozitioner

El sistema Pozitioner permite a vehículos submarinos no tripulados determinar su posición exacta con la ayuda de balizas submarinas. Los robots submarinos rusos que operan en las profundidades a varios kilómetros por debajo de la gruesa capa de hielo del Ártico podrán determinar con una precisión milimétrica su propia ubicación e intercambiar información en tiempo real con los puntos de control aéreos, marinos y terrestres.

El sistema está formado por varios aparatos submarinos no tripulados autónomos y por unas boyas hidroacústicas con equipos de comunicación por satélite Gonets-DIM y de navegación por Glonass. Pozitioner puede utilizar varios tipos de boyas: submarinas, flotantes e incluso incrustadas en el hielo.

Actualmente EE UU está considerado como el líder en la creación de sistemas autónomos. La agencia estadounidense de Proyectos de Investigación Avanzados del Pentágono DARPA, junto con algunas empresas privadas, está llevando a cabo el proyecto Posydon, un análogo submarino del sistema de navegación global GPS. Este sistema permitirá a los submarinos y vehículos no tripulados no solo orientarse debajo del mar, sino también intercambiar información. (Kudenko, 2018)



Figura 4: Sistema de posicionamiento Pozitioner

Fuente: <https://3.bp.blogspot.com>

1.1.3 Sistema Posydon

Ingenieros de BAE Systems están desarrollando un sistema experimental de navegación submarina similar al GPS para submarinos tripulados y vehículos submarinos no tripulados (AUV). El programa de DARPA denominado Sistema de Posicionamiento para la Navegación en Océano Profundo (POSYDON) tiene como objetivo desarrollar un sistema de navegación submarina para aumentar la capacidad de la US Navy. Que permita, un posicionamiento global preciso a lo largo de las cuencas oceánicas.

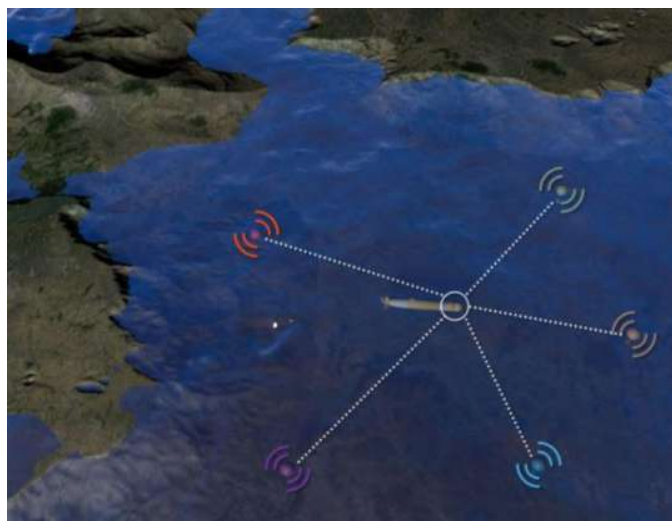


Figura 5-1: Sistema de posicionamiento POSYDON.

Fuente: <https://4.bp.blogspot.com>

Los AUVs de hoy en día por lo general deben emerger periódicamente para obtener la posición de GPS y actualizar sus sistemas de navegación inercial. Corriendo el riesgo de detección. POSYDON también puede ayudar a asegurar una navegación precisa cuando las señales GPS no están disponibles o esta acosado por el enemigo. (Comunidad Submarinista Latinoamericana, 2016)

1.1.4 Sistemas de mapeo acústico submarino

El mapeo acústico consiste en la representación cartográfica de los niveles de ruido existente en un espacio delimitado. Es decir, el mapeo acústico submarino se encarga de la representación cartográfica del fondo marino. (Barroso y Estrada, 2015, pp. 1-3)

1.1.4.1 Sonda de haz simple

La sonda haz simple o mono haz era utilizada en la mayoría de estudios de batimetrías que se realizaban años atrás, en la actualidad con la aparición de la multihaz han quedado en un segundo lugar, pero es muy utilizada en la localización de bancos de peces.

Este tipo de instrumento electrónico tiene un transductor que genera un solo pulso acústico que llega hasta el suelo marino, con lo que no es posible obtener el cien por ciento de cobertura del fondo, la onda de sonido rebota y este retorno es capturado por el transductor. Emiten un pulso con una frecuencia de 200 KHz. (Barroso y Estrada, 2015, pp. 1-3)



Figura 6-1: Sonda de haz simple

Fuente: <https://www.lpi.tel.uva.es>

1.1.4.2 Sonda de haz múltiple

Este tipo de sistema es la combinación de un conjunto de sondas que emiten varios haces angostos de sonido en diferentes direcciones, los cuales están ordenados en forma de abanico que barren transversalmente en el sentido que avanza la embarcación (figura 29-1), a una determinada frecuencia, cubriendo así una mayor zona, permitiendo corregir de errores mediante la interpolación de los resultados obtenidos. (La mar en Calma, 2012)



Figura 7-1: Sonda multihaz o haz simple

Fuente: <https://www.lpi.tel.uva.es>

Pueden alcanzar una profundidad de muestreo entre los 50 a 11000 metros con una apertura de 150 grados y la frecuencia depende de estas sondas depende de la profundidad en la que se desee trabajar. Normalmente mientras la profundidad sea mayor la frecuencia emitida será mayor.

1.1.4.3 Sondas Laterales o side scan SONAR

Los side scan son los dispositivos más versátiles para la realización d batimetría, la gran mayoría de sondas laterales van montadas en dispositivos sumergibles o deep tow los cuales son arrastrados por un barco evitando que la sonda se mueva constantemente. Muchos de estos sistemas están compuestos por sensores que permiten medir la temperatura del agua, sus propiedades y la geología del terreno.

El principio de funcionamiento de esta tecnología es muy sencillo, la sonda envía pulsos en un plano perpendicular a la trayectoria seguida por el barco, lo que equivale a un escáner acústico. Permitiendo obtener sonografía del fondo marino muy precisa. Los sonares de barrido lateral

emplean transductores que emiten pulsos que están entre los 10 a 500 KHz. (Barroso y Estrada, 2015, pp. 5-8)



Figura 8-1: Funcionamiento de la sonda Lateral

Fuente: <http://www.cimacanarias.com>

1.2 Red de Sensores Inalámbricos Submarinos (UWSN)

La Red de Sensores Inalámbricos Submarinos o Bajo el Agua consiste de un número variable de nodos sensores que se despliegan tanto en el agua como en la superficie para llevar a cabo tareas colaborativas sobre un entorno acuático para lo cual los nodos deben intercambiar y compartir información entre sí y las estaciones base.

El agua es un medio no transparente para la luz visible por lo que la propagación de ondas por radiofrecuencia se atenúa rápidamente, las ondas ópticas ofrecen una transmisión de datos de alta velocidad, sin embargo el efecto de absorción y dispersión influyen en la señal y su precisión, finalmente por su característica de baja absorción, la comunicación bajo el agua utiliza señales acústicas para la transmisión de información ya que ésta a pesar de su lentitud ofrece un rango de transmisión más largo a menores pérdidas, aunque al mismo tiempo presenta varias limitaciones.

Tabla 2-1: Comparación entre medios de comunicación UWSN

Comunicación	Velocidad (m/s)	Ancho de Banda	Rango de Transmisión	Atenuación
Acústico	1500	1 KHz	1 km	>0.1 dB/m/Hz
Electromagnético	333.333333	1 MHz	10 m	28 dB/Km/100MHz
Óptico	333.333333	10 – 150 MHz	10 – 100 m	Depende de la turbidez

Fuente: (Cujilema, 2018, pp. 20-21)

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Los problemas que las redes acústicas submarinas plantean incluyen el ancho de banda que es severamente limitado, los retrasos de propagación que en magnitud representan cinco veces mayor a un canal de radio frecuencia terrestre, mayores tasas de error de bits, pérdidas temporales de conectividad, energía de batería limitada. (Cujilema, 2018, pp. 20-21)

1.3 Navegación subacuática autónoma de vehículos

El desarrollo de vehículos subacuáticos autónomos (AUV) ha llegado al punto de que se usa en proyectos comerciales. Gran parte de los esfuerzos de investigación y desarrollo hasta la fecha han sido financiados principalmente por organizaciones militares para cumplir con los objetivos de defensa. Existen técnicas tales como el sistema de posicionamiento global, los sistemas de navegación inercial, los registros de velocidad Doppler, la navegación asistida por batimetría, las mediciones acústicas de los barcos de persecución, las medidas acústicas de los transpondedores (técnica de migajas).

Que permiten dar una solución confiable para la navegación y posicionamiento de AUV. A continuación, se presentan algunos de los sensores que utilizan la mayoría de los robots submarinos y permiten determinar la posición, orientación, velocidad y aceleración del robot submarino con respecto a un marco de referencia inercial. (Cannon y Smith, 1995)

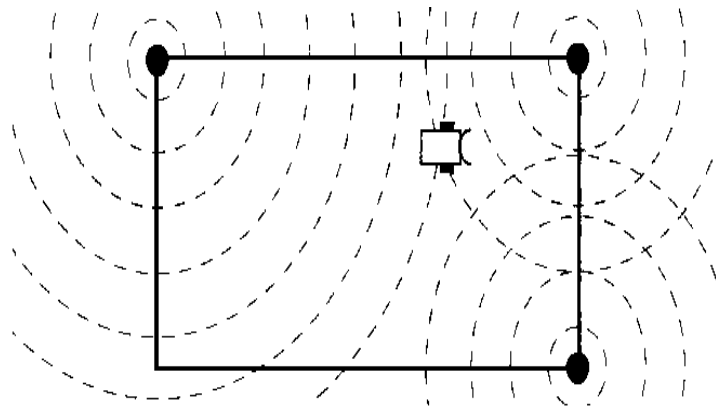


Figura 9-1: Navegación subacuática de vehículos autónomos

Fuente: (Cannon y Smith, 1995)

1.3.1 GPS

El sistema marino más común en la navegación a día de hoy es el Navstar GPS que es un sistema de navegación por satélite estadounidense que es global. Un sistema de posicionamiento global (GPS) permite definir la posición de un objeto en cualquier parte del mundo. Estos son utilizados en las embarcaciones que ayudan en la misión de un ROV o en los Planeadores acuáticos para

localizarse una vez que emergen a la superficie del mar. No puede ser usado por debajo del agua.
(Zamora, 2014, p. 26)

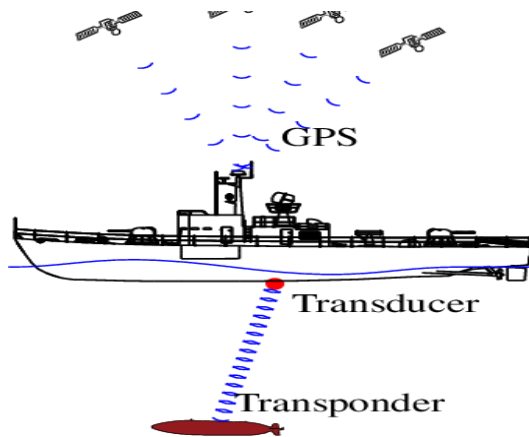


Figura 10-1: Sistema GPS para posicionamiento marino

Fuente: <https://www.researchgate.net>

1.3.2 Unidad de medición inercial (IMU)

Provee información acerca de la aceleración lineal del vehículo y la velocidad angular. La IMU que se utiliza en los robots submarinos se basa en tres giróscopos que permiten hacer las mediciones de los ángulos de: cabeceo, alabeo y guiñada, para luego transmitirlos a otro equipo por medio de un canal de comunicación. En la actualidad, las IMU son equipos pequeños que integran giróscopos y acelerómetros en la electrónica, incluso hay algunas que tienen una brújula electrónica. (Moreno et al., 2014, p. 5)

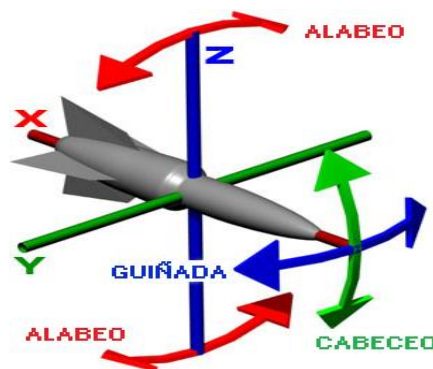


Figura 11-1: Unidad de medición inercial

Fuente: <https://boomzilla.neocities.org/rotation.jpg>

1.3.3 Brújula de estado sólido

Una brújula de estado sólido se basa en la detección de los campos magnéticos de la Tierra. Para ello utiliza dos o tres magnetorresistencias o sensores de efecto Hall colocados a 90° entre ellos,

que mediante un cálculo vectorial determinan la posición norte o de referencia horizontal. Las brújulas magnéticas pueden proveer estimados del norte magnético con una exactitud de 1° si se calibran cuidadosamente para compensar las perturbaciones magnéticas del vehículo. (Moreno et al., 2014, p. 5)

1.3.4 Velocímetro Doppler de navegación

El velocímetro Doppler de navegación, se basa en la transmisión de tres o cuatro ondas ultrasónicas, con dirección diagonal hacia el fondo, ligeramente inclinado a los lados, al frente y hacia atrás. El dispositivo cuenta con un circuito de procesamiento que, mediante el análisis de los ecos recibidos y sus correlaciones, calcula la velocidad, y la posición se obtiene indirectamente por edometría. La operación del velocímetro de Doppler está limitada a un cierto nivel con respecto al fondo marino. (Moreno et al., 2014, p. 5)

1.3.5 Sonar para detección de obstáculos.

El sonar está basado en varios proyectores y arreglos de hidrófonos. En función de la diferencia de tiempo entre la emisión de la señal acústica y el eco recibido se determina la distancia a la que se encuentra un objeto al frente o en ciertos ángulos. Para la detección de obstáculos también es posible utilizar emisores láser y sus receptores, pero estos pueden presentar problemas en aguas muy turbias. (Moreno et al., 2014, p. 6)

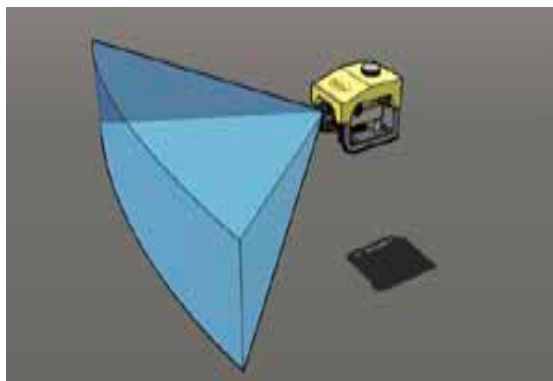


Figura 12-1: Detector de obstáculos en AUV

Fuente: <http://www.grupoalava.com>

1.3.6 Sensor de profundidad

Un método para medir profundidad consiste en colocar un sensor de presión absoluta cuyo punto de medición se pone en contacto con el agua. Debido a que la presión ejercida en el sensor es

proporcional a la columna de agua multiplicada por su densidad (más la presión atmosférica), se puede obtener el valor de la profundidad. (Moreno et al., 2014, p. 6)

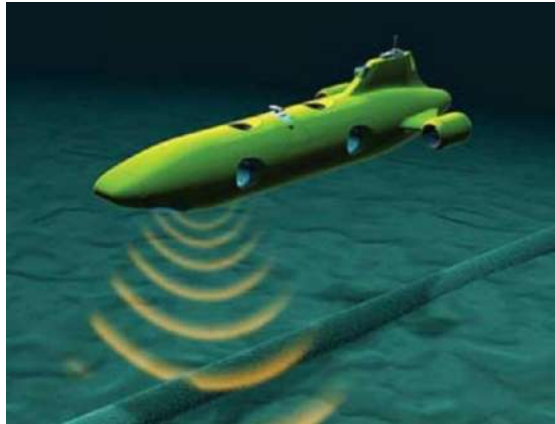


Figura 13-1: Sensor de profundidad en AUV

Fuente: <http://tonicarpio.com>

1.4 Ondas sonoras

1.4.1 Definición

El sonido es creado por un objeto que vibra y viaja como una onda a través de un medio, por ejemplo, un líquido, un sólido o un gas, es decir el sonido es una perturbación mecánica.

Una onda de sonido es similar a las olas del océano, o a la forma en la que una soga se dobla hacia arriba y hacia abajo con un quiebre de muñeca. Estos tipos de patrones de onda hacia arriba y hacia abajo están compuestos por ondas transversales, las ondas transversales, como las ondas de luz, viajan en una sola dirección, pero las ondas sonoras funcionan de otra forma.

En la figura 1.14 se muestra como el sonido viaja a través de un medio, los puntos rojos y las flechas rojas ilustran el movimiento individual de las partículas. La flecha negra ilustra el movimiento de una onda a medida que la compresión de partículas se mueve a través del medio. (University of Rhode Island, 2013)

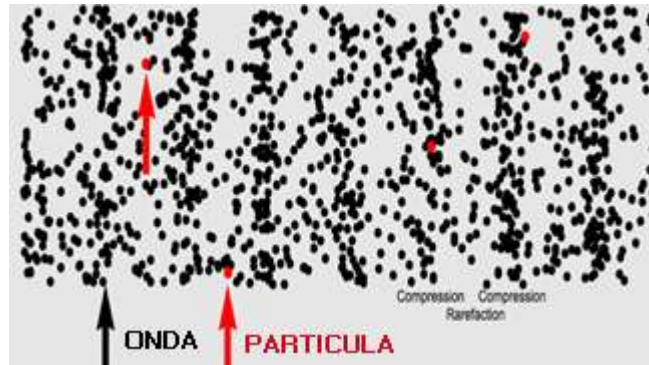


Figura 14-1: Vibración de las partículas en un medio

Fuente: <http://www.acs.psu.edu>

Las ondas sonoras, haciendo una referencia son más como las olas pequeñas que se puede ver en un estanque cuando se arroja una piedra. En vez de viajar hacia arriba y hacia abajo en una dirección, las ondas sonoras se mueven en todas direcciones. Este tipo de onda se conoce como onda longitudinal. Una pequeña ola en un estanque comienza fuerte, pero gradualmente desaparece.

De la misma forma, las ondas sonoras son más intensas en el punto donde se iniciaron y cuando se van alejando de la fuente las ondas van perdiendo energía y luego estas desaparecen. (Winterberg, 2017, pp. 6-7)

Tabla 3-1: Diferencia entre onda transversal y longitudinal.

Ondas transversales	Ondas longitudinales
Las partículas del medio vibran perpendicularmente a la dirección de la onda	Las partículas vibran paralelamente a la dirección de la onda

Fuente: (Winterberg, 2017, pp. 6-7)

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

1.4.2 *Parámetros del sonido*

Cuando los especialistas en acústica describen el sonido de forma en que puede cuantificarse, se utilizan términos como presión, velocidad de partícula, densidad e intensidad, por lo general precedido con la palabra acústica o sonido. Cada uno de estos términos describe una propiedad mecánica del material por donde el sonido viaja.

1.4.2.1 Presión del sonido

Cuando se crea un sonido, la presión del aire medida en este punto, la perturbación será diferente de la presión del aire no perturbada y cambiante con tiempo. El cambio en la presión del aire debido a la presencia del sonido se llama la presión acústica. La perturbación y su movimiento también pueden dar como resultado una fuerza aplicada al material circundante (como en el caso del tímpano). Si la perturbación aplica una fuerza y mueve algo, la perturbación está haciendo trabajo y por lo tanto contiene energía. (PCPAUDIO, 2018)

1.4.2.2 Velocidad de la partícula del sonido

Cualquier cambio en la velocidad mecánica promedio de las moléculas, hacen que la perturbación tome el nombre de velocidad de la partícula acústica, con esto diferenciaremos de la velocidad absoluta de cualquier molécula individual o de la velocidad con la que el sonido viaja. La palabra partícula se usa porque los grupos de moléculas que componen la perturbación se comportan como paquetes de partículas.

La velocidad de la partícula es análoga a una masa en movimiento y contiene energía cinética. Tanto la energía potencial (de la presión) como la energía cinética (del movimiento coordinado de las moléculas) contribuye a la energía total contenido en la perturbación. (PCPAUDIO, 2018)

1.4.2.3 Densidad del sonido

Mirando de cerca a la región que comprende la perturbación se muestra que los grupos de las moléculas están más apretados o más sueltos, que los de la región circundante promedio. Cuando esto ocurre, la densidad del grupo (masa o moléculas por unidad de volumen) se dice que es más alta o más baja que el promedio densidad de la región circundante. (PCPAUDIO, 2018)

1.4.2.4 Intensidad del sonido

Cuando la energía es transportada por la perturbación mientras se mueve a través del material, uno puede preguntarse: "¿Cuánta energía pasa en un segundo?" La energía (medida en Joules) que pasa en un segundo se llama potencia (vatios o Joules por segundo), distribuido en un área unitaria (como un metro cuadrado), se llama intensidad acústica (vatios por metro cuadrado). Hay que tener en cuenta que la definición de intensidad acústica es exactamente la misma que la definición de intensidad electromagnética. (PCPAUDIO, 2018)



Figura 15-1: Diferencia de intensidad de una onda acústica

Fuente: <https://es.slideshare.net>

1.4.3 Propagación del sonido

El sonido es una perturbación mecánica, es necesario que exista algún medio o material a perturbar. Es decir, el sonido sucede cuando el material se altera y tanto la perturbación y la energía asociada con la perturbación viaja a través del material. El proceso que toma el sonido al viajar es conocido como propagación del sonido, ya sea que ocurra en un material fluido como aire o agua o un material sólido como el acero o la tierra.

Si no hay un medio en el cual se pueda perturbar algún material (como en el espacio exterior), no puede haber sonido. Es importante saber que solo el sonido (perturbación) viaja, no el material. El material solo se mueve hacia adelante y hacia atrás. Si se crea una perturbación (es decir, la presión acústica o la velocidad acústica de la partícula cambia en algún lugar), entonces esa perturbación actúa sobre el material circundante (es decir empuja) y hace que se altere. (Bradley y Stern, 2008, p. 79)

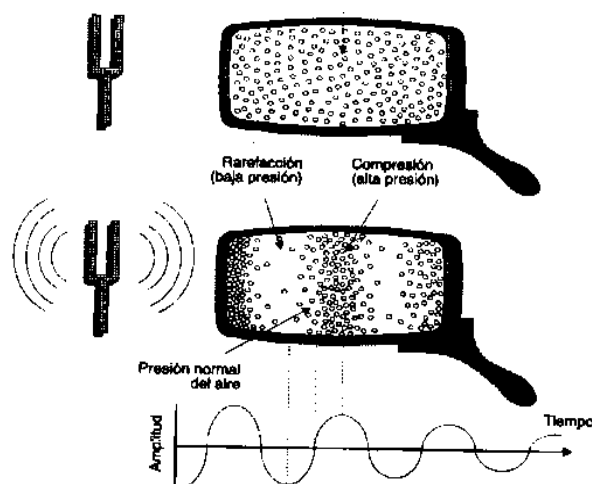


Figura 16-1: Vibraciones físicas en un Diapasón

Fuente: <http://webs.ucm.es>

1.4.4 Comportamiento del sonido

El sonido que es emitido desde un punto, se aleja en forma de ondas longitudinales, dichas ondas poseen su centro en la fuente. Existen dos tipos de fuentes, las de sonido puntual y las de sonido lineal.

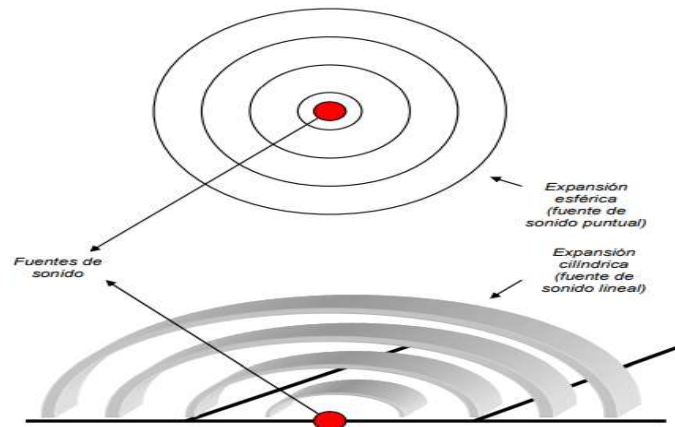


Figura 17-1: Representación de la propagación del sonido

Fuente: (Cando y Utreras, 2007)

Las fuentes de sonido lineal son generadas en un sitio específico, por ejemplo, un helicóptero que se encuentra estático en un punto en el aire, las ondas de sonido se alejan de la fuente forman una esfera. Las fuentes de sonido puntual generan ondas que se propagan en forma cilíndrica, por ejemplo, las ondas que son generadas por un automóvil en movimiento. (Cando y Utreras, 2007, pp. 47-48)

1.4.5 Características del sonido

El sonido es una onda longitudinal cuyo medio de desplazamiento como se mencionó anteriormente, este puede ser cualquier estado de la materia (gaseoso, líquido, sólido) excepto el vacío. Este traslado suele tener una misma estructura, un aumento y disminución de presión continua. (Brazales, 2016)

1.4.5.1 Onda sinusoidal

La onda sinusoidal es una forma de onda cíclica que repite un patrón una y otra vez, son fáciles de generar pero difíciles de eliminarlas. Lo más importante es que las ondas sinusoidales se pueden combinar matemáticamente para representar otras formas de onda. (PCPAUDIO, 2018)

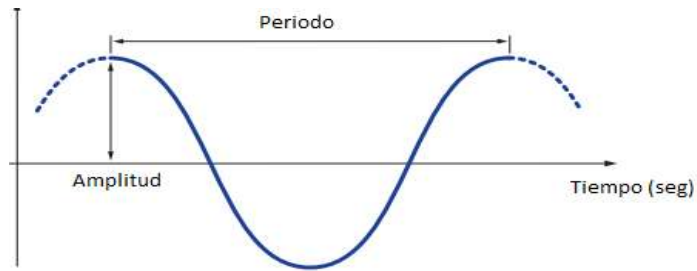


Figura 18-1: Onda sinusoidal

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

El sonido sigue un desplazamiento similar a la ecuación de una onda pura u onda sinusoidal.

$$x = A \cdot \text{Sin}(\omega t + \varphi) \quad \text{Ecuación 1-1}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad \text{Ecuación 2-1}$$

donde,

x = lugar en el espacio

A = Amplitud

ω = frecuencia angular

t = tiempo

f = frecuencia

1.4.5.2 Velocidad del sonido

El sonido se propaga a una velocidad constante si el medio por el que se propaga es homogéneo. Cualquier objeto que lleve una velocidad constante recorre un cierto espacio en un cierto tiempo y las ondas sonoras también. La relación simple pero importante es que la frecuencia, cuando se multiplica por la longitud de onda, da la velocidad o velocidad del sonido. La velocidad es más lenta en el aire (alrededor de 340 m por segundo) mientras que en el agua (alrededor de 1.500 m por segundo). (Roa, 2008)

$$c = \lambda \cdot f \quad \text{Ecuación 3-1}$$

donde,

c = velocidad del sonido

λ = longitud de onda

$f = \text{frecuencia}$

Para la siguiente tabla hay que considerar la velocidad del sonido en el *aire* = 340 m/s, velocidad del sonido en el *agua* = 1500 m/s.

Tabla 4-1: Valores típicos de parámetros acústicos en aire y agua.

Descripción	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Frecuencia (Hz.)	10	100	1000	10000	100000
Periodo (seg.)	0.1	0.01	0.001	0.0001	0.00001
Longitud de onda (aire m.)	34	3.4	34 cm	3.4 cm	0.34 cm
Longitud de onda (agua m.)	150	15	1.5	0.15	0.015

Fuente: <http://webs.ucm.es>

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

1.4.6 Unidades dimensionales

La acústica es a la vez un arte y una ciencia. Muchos científicos hablan, discuten, debaten sobre muchos temas, pero todos están de acuerdo en la unidad de las diversas propiedades del sonido. Están de acuerdo porque las unidades son parte del lenguaje de la ciencia, un lenguaje que exige precisión y coherencia. (Cando y Utreras, 2007)

Tabla 5-1: Propiedades dimensionales y unidades utilizadas en acústica

Propiedad	Unidad
Longitud	m.
Masa	Kg.
Fuerza	Newton = (Kg*m) / (seg.)
Densidad	Kg/m
Velocidad	m/seg
Presión	Pascal=Newton/m
Energía	Joule= (Kg*m) / (seg.)
Potencia	w=Joule/seg
Intensidad	Joule/(seg*m)=w/m=kg/seg

Fuente: <http://webs.ucm.es>

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

1.4.7 Unidad de medida del sonido

1.4.7.1 El decibelio

Es una unidad de medida de razones, utilizado principalmente en las telecomunicaciones, electrónica y acústica. Esta unidad de medida fue inventada por los ingenieros de Bell Labs y originalmente se le dio el nombre de unidad de transmisión o TU, pero fue renombrada entre 1923 y 1924 en homenaje a Alexander Graham Bell. Esta unidad de medida de uso frecuente en la acústica y abreviado como dB, es una unidad relativa, no absoluta. El nivel de intensidad del sonido en decibelios se define como 10 veces el logaritmo de la relación entre la intensidad de una onda de sonido y una intensidad de referencia. (Cabrera, 2010, p. 145)

$$I(\text{dB}) = 10 \log_{10}\left(\frac{I_{\text{sonido}}}{I_{\text{referencia}}}\right) \quad \text{Ecuación 4-1}$$

El decibel es una unidad relativa que compara dos presiones; por lo tanto, también se debe indicar una presión de referencia. En acústica submarina, la presión de referencia es 1 microPascal, por lo que la unidad de intensidad real para el sonido subacuático es dB referenciada a 1 microPascal. En el aire, los científicos han acordado usar una presión de referencia más alta de 20 microPascuales.

Por lo tanto, la verdadera unidad de intensidad para los sonidos en el aire es dB referenciada a 20 microPascal. Debido a que utilizan diferentes presiones de referencia, la intensidad del sonido en dB en agua no es igual a la intensidad del sonido en dB en el aire. (Cabrera, 2010, p. 145)

Tabla 6-1: Tabla logarítmica base 10

$10 \log x$	X
30	1000
20	100
10	10
0	1
-10	0.1
-20	0.01
-30	0.001
-40	0.0001

Fuente: (Cabrera, 2010, p. 145)

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

1.5 Movimiento del sonido

1.5.1 Velocidad del sonido en el agua

Si bien ya se mencionó que el sonido en el agua tiene una velocidad de unos 1500 m/s y el aire es de 340 m/s, desafortunadamente esto no es tan simple. La velocidad del sonido en el agua de mar no es un valor constante y este se debe a que el agua especialmente la de mar no es un medio homogéneo, ya que varía un pequeño porcentaje de un lugar a otro, de una estación a otra, de la mañana a la tarde y dependiendo de la profundidad del agua. (Roa, 2008)

$$c = \frac{1}{\sqrt[2]{\rho u}} \quad \text{Ecuación 5-1}$$

donde,

c = velocidad del sonido

u = coeficiente de compresibilidad

d = densidad

Obtener una expresión donde se queda reflejar de forma clara estas variaciones es complicado, de forma que lo habitual es expresar la velocidad del sonido mediante expresiones empíricas para obtener valores aproximados de este parámetro, las cuales están en función de la temperatura, la presión y la salinidad.

Durante muchos años se ha investigado la influencia que tienen estos factores en la velocidad del sonido, desde el punto de vista teórico mediante formulación matemática y desde el punto de vista práctico. En base a estos experimentos se ha obtenido varias fórmulas, las ecuaciones más utilizadas son las de la tabla. (Sainz, 2013, pp. 13,14)

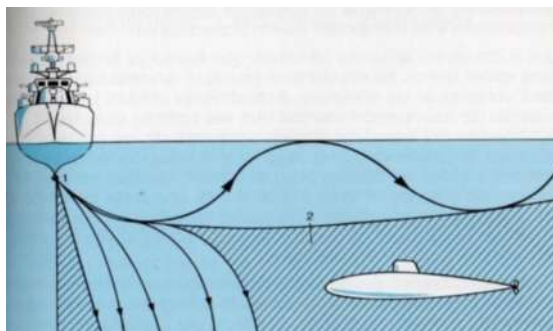


Figura 19-1: Velocidad del sonido en el agua

Fuente: <http://3.bp.blogspot.com>

Tabla 7-1: Rangos de temperatura, profundidad y salinidad para el cálculo de la velocidad del sonido.

Autor	Rango de Temp. °C	Rango de Profundidad (m)	Rango de Salinidad (ppm)	Números de Términos en la Formula
Wilson (1960)	-4 – 30	10 – 10000	0 – 37	23
Leroy (1969)	-2 – 34	0 – 8000	20 – 42	13
Frye and Pugh (1971)	-3 – 30	10,33 – 9.843	33,1 – 36.6	12
Del Grosso (1974)	0 – 35	0 – 10000	29 – 43	19
Medwin (1975)	0 – 35	0 – 1000	0 – 45	6
Chen and Millero (1977)	0 – 40	0 – 10000	5 – 40	15
Lovett (1978)	0 – 30	0 – 10000	30 – 37	13
Coppens (1981)	-2 – 35	0 – 4000	0 – 42	6
Mackenzie (1981)	-2 – 30	0 – 8000	25 – 40	9

Fuente: (Sainz, 2013, pp. 13,14)

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

A continuación, se detalla las aproximaciones empíricas más conocidas en la acústica subacuática, en función de las variables mencionadas anteriormente para la variación de la velocidad del sonido en el agua, estas fórmulas son:

1.5.1.1 La aproximación de Medwin

La aproximación de Medwin data originalmente de 1975, dicha formula está en función de la temperatura, salinidad y profundidad y tiene 6 términos siendo la ecuación más simple.

$$c = 1449.2 + 4.6T + 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.106Z$$

Ecuación 6-1

con condiciones,

$$0 \leq T \text{ °C} \leq 35$$

$$0 \leq \text{Salinidad (ppm)} \leq 45$$

$$0 \leq Z(m) \leq 1000$$

1.5.1.2 La aproximación de Mackenzie

Esta aproximación data de 1981 a diferencia de Medwin esta fórmula contiene 9 términos y está en función de la temperatura, salinidad y profundidad.

$$c = 1448.96 + 4.591T + (5.304 * 10^{-2})T^2 + (2.374 * 10^{-4})T^3 + 1.340(S - 35) + (1.630 * 10^{-3})Z + (1.675 * 10^{-7})Z^2 - (1.025 * 10^{-2})T(S - 35) - (7.139 * 10^{-13})TZ^3$$

Ecuación 7-1

con condiciones,

$$-2 \leq T \text{ } ^\circ\text{C} \leq 30$$

$$25 \leq \text{Salinidad (ppm)} \leq 40$$

$$Z(m) \leq 8000$$

Estas aproximaciones son apropiadas considerando las condiciones indicadas, para profundidades menores de 8000 metros y restricciones de temperatura y salinidad. Para profundidades mayores a los diez kilómetros exista la aproximación de Del Grosso. (Velo, 2007, pp.7-8)

1.5.1.3 La aproximación de Del Grosso

La aproximación de Del Grosso data originalmente de 1974, esta fórmula contiene 19 términos y está en función de la temperatura, salinidad y profundidad.

$$c = 1449.08 + 4.5Te^{-[\frac{T}{86.9} + (\frac{T}{360})^2]} + 1.33(S - 35)e^{-\frac{T}{120}} + 0.152Pe^{[\frac{T}{1200} + \frac{S-35}{400}]} + (1.46 * 10^{-5})P^2e^{-[\frac{T}{20} + \frac{S-35}{10}]}$$

Ecuación 8-1

La ecuación 8-1 es válida en mar abierto y para puntos donde se considere que la salinidad es baja con un error cercano a los 10 cm/seg. La relación que existe entre la presión y la profundidad vienen dadas en función de la latitud y de la densidad. (Hernández, 2011, pp.14-15)

$$P = 99.5(1 - 0.00263 \cos 2\varphi)Z + 0.239Z^3$$

Ecuación 9-1

donde,

φ = Latitud en grados

Z = profundida en Km

Las unidades que se utilizan en las fórmulas expresadas están dadas de la siguiente manera:

- La Velocidad del sonido es metros por segundo (m/s).
- La Temperatura en grados Centígrados (°C).
- La Salinidad en partes por mil (ppm).

1.6 Factores que alteran la velocidad en el agua

1.6.1 La temperatura

Es un factor muy importante, pues la velocidad de propagación de las ondas acústicas esta adherida a la temperatura. La temperatura del agua depende básicamente de la absorción de la energía solar ya que es su principal fuente, otro factor que se debe tomar en cuenta es la atmosfera. El agua de mar posee una gran capacidad para almacenar energía calorífica y está presente hasta los 50 metros. (Roa, 2008)

Tabla 8-1: Temperatura en diferentes puntos del planeta.

Lugares	Temperatura °C
Océanos	2° y 30°
Sedimentos antárticos	-2° y -7°
Mar Rojo	35°
Agua de mar superficial	3.9°
Aguas próximas al Ecuador y zonas tropicales	24° y 27°
Latitudes medias y zonas templadas	16° y 20°
Costas gallegas	10° y 15°
Zonas polares	-1° y 5°

Fuente: (Roa, 2008)

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

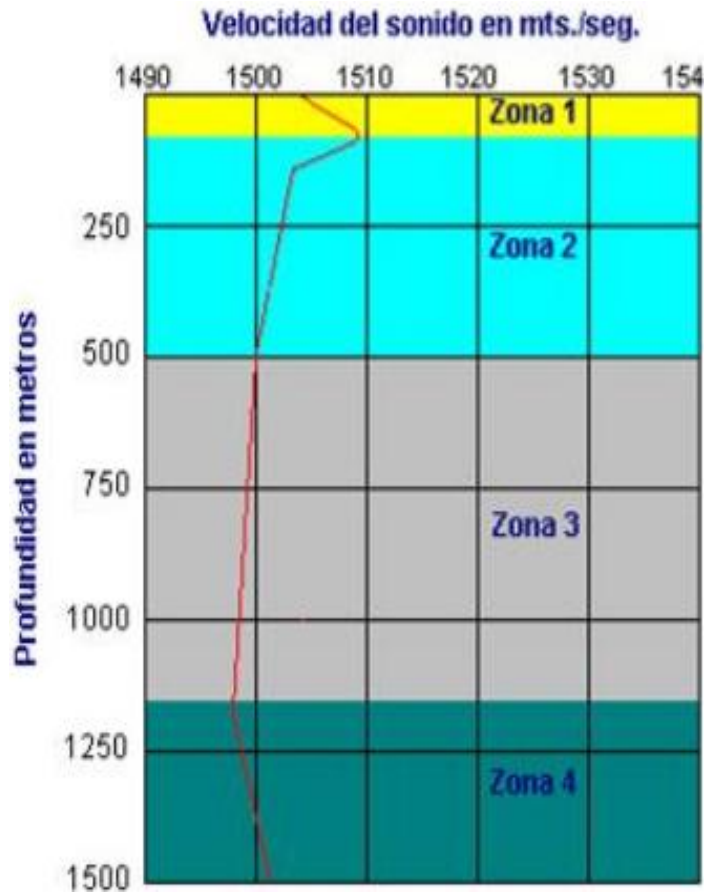


Figura 20-1: Velocidad del sonido dependiente de la temperatura

Fuente: (Roa, 2008)

Zona 1, Capa Superficial: Abarca desde la superficie hasta los 50 metros, donde se puede sentir el calentamiento debido a la radiación solar.

Zona 2, Termoclina Estacional: Su intensidad varía con la época del año por lo que puede ser confundida por la capa de mezcla.

Zona 3, Termoclina Permanente: Su intensidad es uniforme y se ve poco afectada con los cambios estacionales.

Zona 4, Isotherma Profunda: La temperatura permanece constante y la celeridad aumenta mientras aumenta la profundidad. (Roa, 2008)

1.6.2 La salinidad del agua

La salinidad se debe a la cantidad de cloruros, sulfatos y carbonatos disueltos en el agua. Una característica de la salinidad es que esta no es constante en todas las regiones, sino que varía de

un lugar a otro dependiendo de la latitud y longitud. En el mar abierto la salinidad varía por lo general de 32 a 37.5 gr/lit, mientras que el agua de los ríos presenta una salinidad de 0.5 gr/lit. (Hernández, 2011, p.3)

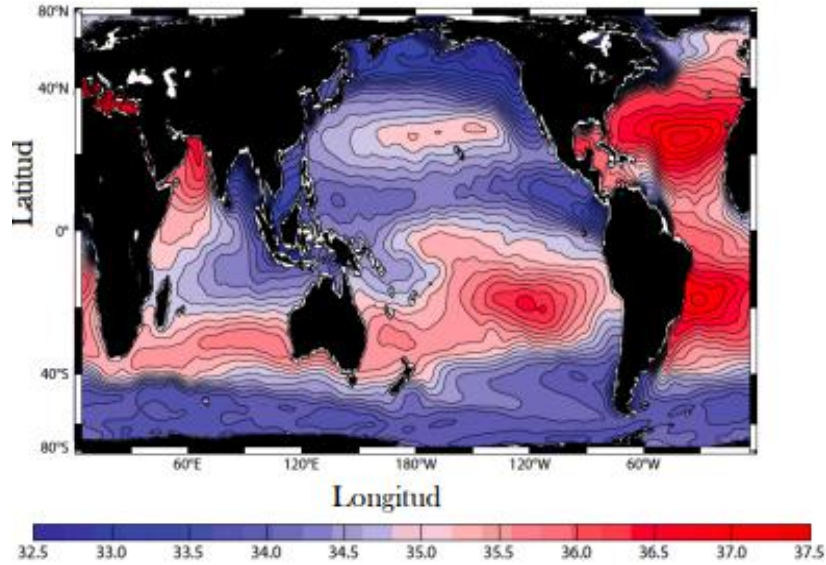


Figura 21-1: Salinidad en todas las regiones del globo

Fuente: (Hernández, 2011, p.3)

Tabla 9-1: Relación entre salinidad y temperatura.

Masas de agua	Salinidad (partes por mil) ppt	Temperatura °C
Antártica	33.80 - 34.76	2.0 - 6.1
Subantártica	33.70 - 34.80	5.0 - 10.0
Atlántica Sur	34.70 - 35.70	7.5 - 18.0
Atlántica Norte	35.03 - 36.20	7.5 - 18.0
Mediterráneo	35.00 - 36.50	4.0 - 12.0
Índica	34.50 - 35.71	7.7 - 16.0
Pacífico Sur	34.47 - 35.64	6.2 - 17.0
Pacífico Norte	34.02 - 34.74	9.0 - 17.05

Fuente: (Hernández, 2011, p.9)

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

1.6.3 La densidad del agua

La temperatura junto con la salinidad y la presión determinan la densidad del agua, lo que es importante porque esta determina la profundidad a la que las masas de agua se encuentran en

equilibrio. La densidad se expresa en Kg/m^3 . La densidad aumenta con la profundidad, este aumento no se produce uniformemente. (Quino, 2009, p. 5-13)

Tabla 10-1: Variación aprox. de la velocidad del sonido

Dependencia de la velocidad del sonido	Coefficiente
Temperatura	+4.6 m/seg por °C
Salinidad	+1.3 m/seg por ppt
Densidad	+0.016 m/seg por m

Fuente: (Urick, 1983)

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

1.7 Perfil de la velocidad del sonido

Se denomina perfil de velocidad del sonido al grafico de la velocidad del sonido a través de varias profundidades en el océano (SVP) y la variación de la velocidad del sonido juega un papel importante en la predicción del camino que toma el sonido a medida que viaja a través del océano. La Figura 17-1 indica un SVP (Sound Velocity Profile) perfil de la velocidad del sonido. Cerca de la superficie, en la región conocida como capa superficial, hay un pequeño cambio de la velocidad del sonido con la profundidad. (Veloso, 2007, p. 27)

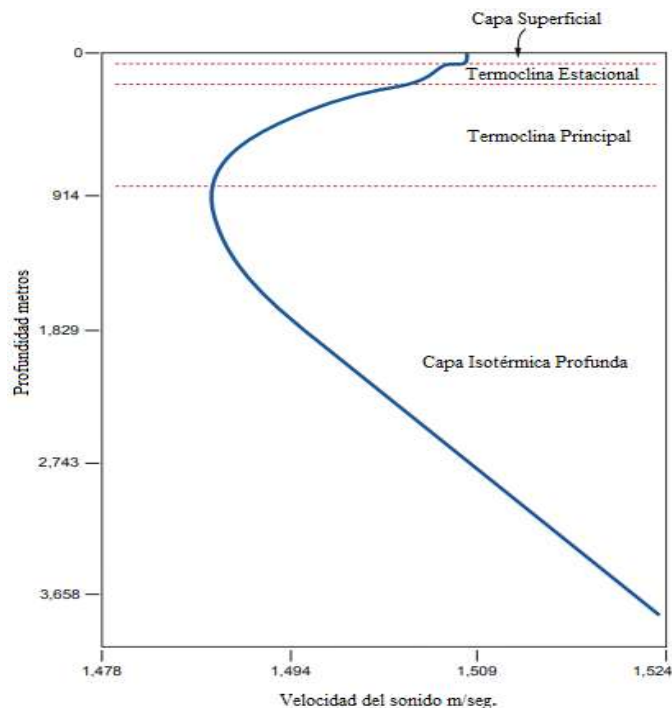


Figura 22-1: Perfil de Velocidad del Sonido

Fuente: <https://www.lpi.tel.uva.es>

Unos cuantos metros más abajo, en la región llamada termoclina estacional, la temperatura puede caer rápidamente y llegar a ser inestable. La velocidad del sonido sigue el perfil de temperatura y disminuye proporcionalmente y luego se nivela. Por debajo de esta profundidad, la temperatura es relativamente constante y estable; por lo tanto, esta región se llama la capa isotérmica. Dentro de esta capa, el contenido de sal ya no cambia, y la velocidad del sonido sigue un aumento según la profundidad (presión). (Veloso, 2007, p. 27)

1.8 Ley de Snell

La ley de Snell se utiliza para la propagación de las ondas sonoras en el agua. Esta ley describe la refracción de los rayos sonoros en un medio en donde la velocidad del sonido varía. La ley de Snell está dada por la siguiente expresión: (Veloso, 2007, p. 18)

$$\frac{\sin \theta_1}{c_1} = \frac{\sin \theta_2}{c_2} = a \quad \text{Ecuación 10-1}$$

donde,

θ_1 = ángulo del rayo en el medio 1 con respecto a la normal

c_1 = velocidad de propagación del medio 1

θ_2 = ángulo del rayo en el medio 2 con respecto a la normal

c_2 = velocidad de propagación del medio 2

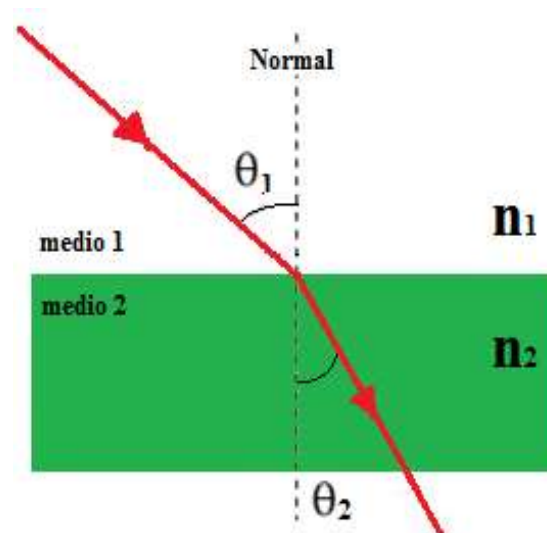


Figura 23-1: Refracción de rayo en dos medios

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

De acuerdo con esta ley se puede percibir que mientras la velocidad del sonido aumenta con la profundidad, el rayo sonoro se refracta hacia arriba y mientras la velocidad del sonido decrece, el rayo sonoro se refracta hacia abajo. Si un haz de ondas ultrasonoras se proyecta verticalmente en el agua hacia abajo, su velocidad varía a medida que aumenta la presión, la temperatura y la salinidad.

Si la velocidad del sonido cambia con la profundidad, la velocidad de propagación del sonido puede ser dividida en capas ya que el medio por el cual viaja la onda sonora varía continuamente.

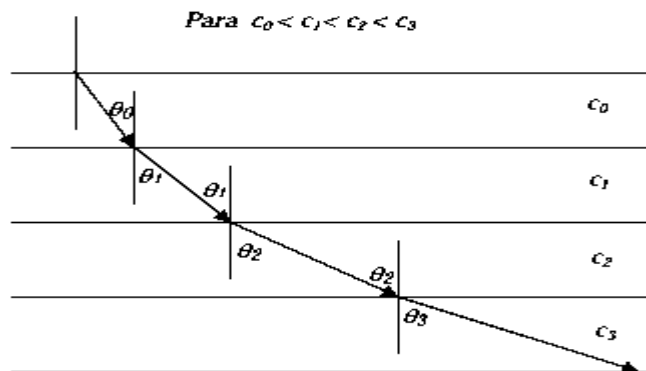


Figura 24-1: Refracción de un rayo en diferentes medios

Fuente: (Velo, 2007)

Si la velocidad de la onda sonora sigue creciendo con la profundidad el rayo se hará horizontal y $\sin \theta = 1$. (Velo, 2007, p. 18)

1.8.1 Reflexión

La reflexión es la desviación de la trayectoria de una onda de sonido por un objeto o por el límite entre dos medios. Es decir, la onda de sonido se refleja cuando topa con un obstáculo que no puede traspasar, el tamaño del obstáculo y la longitud de onda determina si una onda puede reflejarse. (Candia, 2009)

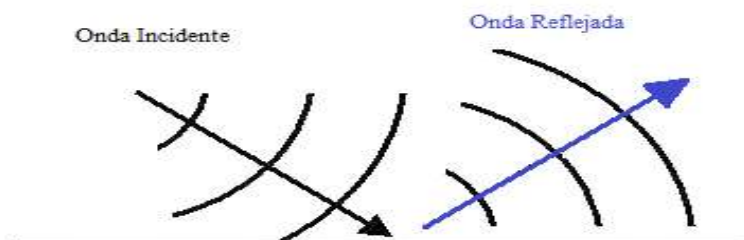


Figura 25-1: Reflexión de una onda de sonido

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

La onda que viaja hacia un objeto se llama onda incidente y la onda que se aleja del mismo se le denomina onda reflejada. La superficie del océano es un reflector casi perfecto para el sonido en condiciones normales, especialmente a bajas frecuencias, la cantidad de sonido que se refleja depende de las propiedades acústicas del medio en el que se propaga la onda y del ángulo de incidencia. (Rom, 2014)

1.8.1.1 Fenómenos relacionados con la reflexión

- Las ondas estacionarias, se producen por la suma de una onda incidente y una onda reflejada, de acuerdo como coincidan estas ondas se producirá cambios en el sonido.
- El eco, se produce cuando la señal original se desvanece antes de que choque con un objeto y su onda reflejada no es devuelta.
- La reverberación, se produce cuando las ondas reflejadas llegan al punto de origen antes de que la onda incidente se desvanezca. (EcuRed, 2018)

1.8.2 Refracción

El sonido y la luz tienen el mismo comportamiento de refracción en el agua. Esta propiedad del sonido ocurre cuando una onda que viaja a través del agua se dobla cada vez que encuentra cambios en la velocidad del sonido, esta variación de la velocidad es porque hay cambios en la temperatura, salinidad y presión. (EcuRed, 2018)

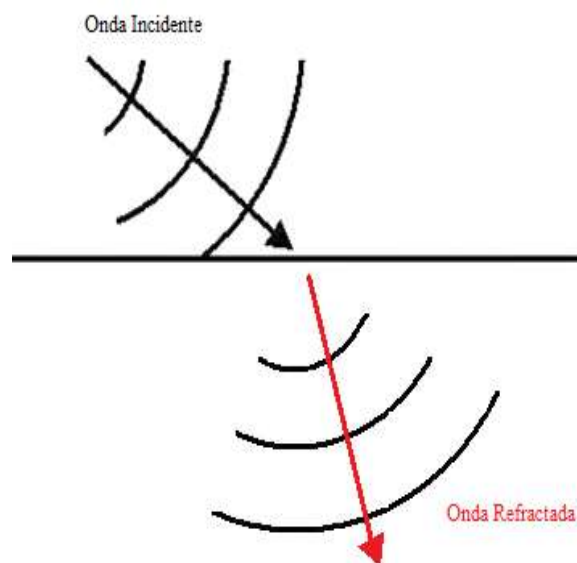


Figura 26-1: Refracción de una onda de sonido

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

1.8.3 Scattering o Dispersión

El agua está llena de burbujas, partículas suspendidas y organismos que afectan la velocidad del sonido a medida que viaja a través del agua. Por ejemplo, cuando utilizamos una linterna o la luz de un vehículo la mayoría de las veces la luz crea un círculo, sin embargo, cuando está nublado la luz se dispersa en todas direcciones y el haz de luz no viaja tan lejos. Las ondas sonoras son similares a una onda de luz, y lo mismo sucede cuando una onda de sonido se dispersa en el agua. (EcuRed, 2018)

1.9 EL SONAR

El SONAR (SOund NAVigation And Ranging) es el nombre genérico de la tecnología que se utiliza para localizar objetos bajo el agua. Los sistemas de sonar son de dos tipos, el sonar activo y el sonar pasivo. En el sonar activo emite un pulso de sonido y luego se escuchan los ecos. En el sonar pasivo, el operador escucha los sonidos emitidos por el objeto que se intenta localizar. (Discovery of Sound in the Sea, 2017)

1.9.1 Tipos de SONAR

1.9.1.1 El SONAR activo

Cuando se envía una señal de sonido al agua, parte de esta señal se reflejará hacia atrás si choca contra un objeto. La distancia del objeto se puede calcular midiendo el tiempo entre el momento en que se envía la señal y el momento en que se recibe el sonido reflejado o el eco.

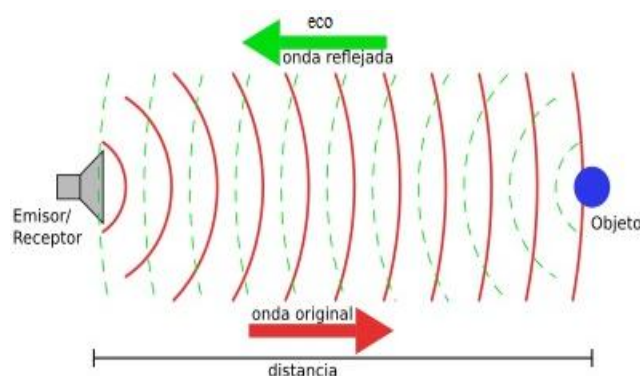


Figura 27-1: Ondas sonoras de un sonar activo

Fuente: <http://musiki.org>

Por ejemplo, si transcurren 4 segundos entre la emisión del sonido saliente y el retorno de su eco, entonces podemos decir que el sonido tarda 2 segundos en viajar al objeto y 2 segundos en

regresar. Si tomamos el valor de la velocidad del sonido en el agua de 1.500 m/seg. Entonces, mediante la ecuación de $d=v*t$, que posteriormente se detalla, podemos asumir que el objeto está a 2 segundos x 1,500 m / seg o a 3.000 metros de distancia. (Barroso y Estrada, 2015, p. 10)

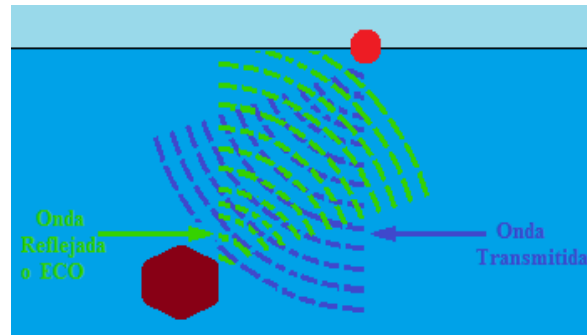


Figura 28-1: Funcionamiento de un sonar activo

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Los sistemas de Sonar generalmente usan haces de sonido altamente direccionales cuando buscan objetivos. De esta forma, pueden determinar la dirección del objetivo, así como la distancia. Los ecos que se escuchan en los sistemas de sonar activos también pueden ser muy distintos. Los técnicos experimentados en sonar a menudo son capaces de distinguir la diferencia entre los ecos producidos por un submarino, un afloramiento rocoso, un banco de peces o una ballena. (University of Rhode Island, 2013)

1.9.1.2 El SONAR pasivo

Un sonar pasivo es un sistema que está diseñado para escuchar los sonidos o ruidos provocados por barcos, submarinos, mamíferos marinos y peces, mediante este ruido los sonares pasivos pueden localizarlos, de la misma manera en que los humanos usan sus oídos para localizar a alguien hablando en una habitación. El sonar pasivo pueden ser un arreglo de hidrófonos remolcados detrás de un barco o submarino. (Barroso y Estrada, 2015, p. 10)

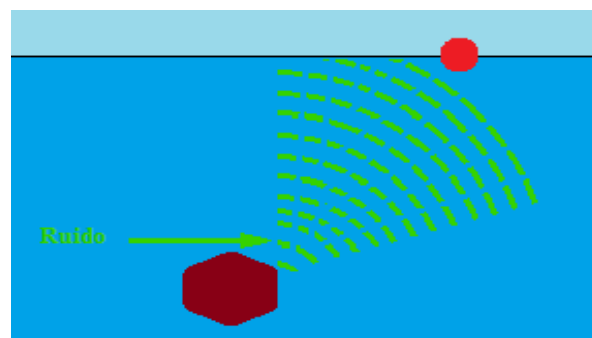


Figura 29-1: Funcionamiento de un sonar pasivo

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Algunos animales tienen su propio sistema de sonar natural. Las ballenas y los delfines usan un sonar activo que sirve para identificar objetos submarinos y para ayudar a encontrar comida. Estos mamíferos marinos producen sonidos muy sofisticados, como barridos de frecuencias y cadenas de clics que les dicen mucho sobre el objetivo cuando se reflejan de nuevo. (University of Rhode Island, 2013)

1.9.2 Aplicaciones del SONAR

- Uso militar y naval para la protección de las zonas costeras de posibles ataques submarinos, para la detección de misiles, el descubrimiento de minas y obstáculos.
- En la industria sirve para la detección de bancos de peces.
- Para comunicaciones subacuáticas, los barcos y submarinos están equipados con sonares especializados para la comunicación submarina.
- Para la seguridad submarina, los sonares pueden usarse para detectar hombres ranas y otros buceadores.
- Medición del calentamiento del planeta mediante el tiempo que una onda sonora tarda en recorrer el espacio entre dos puntos es un indicador de la temperatura media del espacio recorrido.
- En la oceanografía para determinar la profundidad del mar mediante el registro sonoro del eco.
- En la arqueología para la localización de naufragios.
- El sonar natural permite a algunos animales orientarse o incluso comunicarse bajo el agua.
- Actualización de cartas de navegación y trazado de zonas seguras para el tránsito de buques lejos de obstáculos peligrosos.
- En la detección de explosiones nucleares, sismos y erupciones volcánicas submarinas.

1.9.3 Ecuación del SONAR

Para obtener una ecuación de un SONAR hay que relacionar la señal-ruido, que son las encargadas de determinar si se puede o no detectar una señal. Se debe considerar el nivel de la fuente, la dispersión del sonido, la absorción del sonido, las pérdidas de reflexión, el ruido ambiental y las características del receptor. Se usan versiones ligeramente diferentes entre los sistemas de SONAR pasivo y activo. (University of Rhode Island, 2013)

1.9.3.1 Ecuación del SONAR Activo

Los sistemas de los sonares activos, como los buscadores de peces, el ecosonda, los sonares de barrido lateral y los sonares militares, transmiten un pulso de sonido y luego escuchan los ecos. En el sistema del sonar activo la fuente también actúa como un receptor.

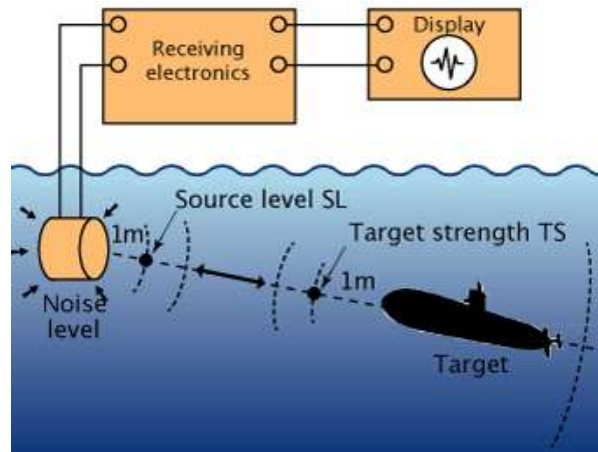


Figura 30-1: Parámetros de ecosonda y SONAR

Fuente: <https://dosits.org>

La ecuación del SONAR debe detallar algunos parámetros, la intensidad de la fuente de sonido (nivel de la fuente), difusión del sonido y la atenuación a medida que el pulso viaja desde el SONAR al objetivo (pérdida de transmisión), la cantidad de sonido reflejada por el objeto, la dispersión del sonido y la atenuación a medida que el pulso reflejado viaja de regreso al receptor (pérdida de transmisión), el ruido de fondo en el receptor (nivel de ruido) y las características del receptor (ganancia). (University of Rhode Island, 2013)

Todos estos términos están en decibelios (dB) y se suman para formar la ecuación del SONAR. El SONAR transmite una señal con un nivel de fuente (SL). A medida que el sonido viaja se vuelve más débil debido a la difusión y a la absorción, la reducción total en la intensidad se denomina pérdida de transmisión (TL). La intensidad del sonido en el objeto es entonces (SLTL).

Solo una parte del sonido que golpea el objeto, ya sea un banco de peces, el fondo del mar o un submarino, se refleja hacia el SONAR. La intensidad del eco a un metro del objeto en relación con la intensidad del sonido que golpea al objetivo se llama intensidad del objeto (TS). El eco a un metro del objetivo se parece esencialmente a la señal de una fuente con un nivel de fuente de:

$$\text{Intensidad del eco} = (SL - TL) + TS \quad \text{Ecuación 11-1}$$

A medida que la señal reflejada vuelve al SONAR, la intensidad de la señal se reduce de nuevo mediante la pérdida de transmisión (TL). La intensidad de la señal o eco devuelto en el receptor es:

$$\text{Intensidad de la señal devuelta} = (SL - TL) + TS - TL \quad \text{Ecuación 12-1}$$

$$\text{Intensidad de la señal devuelta} = SL - 2TL + TS \quad \text{Ecuación 13-1}$$

El nivel de ruido en el receptor esta entre la relación del nivel de la señal y el nivel del ruido llamado también relación señal-ruido (SNR) y es:

$$SNR = SL - 2TL + TS - NL \quad \text{Ecuación 14-1}$$

Los receptores de mayor tamaño, que a menudo están conformados por una serie de receptores más pequeños, pueden apuntar en una dirección específica y rechazar el ruido de todas las demás direcciones y el nivel de ruido efectivo se reduce por la ganancia del sistema (AG) y SNR aumenta. (University of Rhode Island, 2013)

$$SNR = SL - 2TL + TS - (NL - AG) \quad \text{Ecuación 15-1}$$

donde,

SL = Nivel de la Fuente (Source Level)

TL = Pérdida de Transmisión (Transmission Loss)

TS = Intensidad del Objeto (Target Strength)

SNR = Relación Señal – Ruido (Signal – to – Noise Ratio)

NL = Nivel de Ruido (Noise Level)

AG = Ganancia dl Sistema (Array Gain)

1.9.3.2 Ecuación del SONAR Pasivo

Los sistemas de un SONAR pasivo están diseñados para escuchar los sonidos generados por las ballenas, los volcanes, los submarinos y otras fuentes de sonido submarino. En este caso la ecuación del SONAR pasivo toma en cuenta la intensidad de la fuente de sonido (SL), la dispersión del sonido y la atenuación a medida que el pulso viaja de la fuente al receptor donde es detectada (pérdida de transmisión TL), el ruido en el receptor (nivel de ruido) y las características del receptor (ganancia del sistema). (University of Rhode Island, 2013)

La fuente de sonido, ya sea una ballena, volcán, un submarino siempre irradian una señal con un nivel de fuente (SL) y la intensidad del sonido se reduce por la pérdida de la transmisión (TL) a medida que el sonido viaja de la fuente al receptor. Entonces la intensidad del sonido en el receptor es:

$$\text{Intensidad de la señal recibida} = SL - TL \quad \text{Ecuación 16-1}$$

Si existe un nivel de ruido en el receptor (NL) entonces la relación del nivel de la señal y el nivel del ruido se le llama relación señal-ruido (SNR) es:

$$SNR = SL - TL - NL \quad \text{Ecuación 17-1}$$

Si consideramos la ganancia del sistema se obtendrá la siguiente formula:

$$SNR = SL - TL - (NL - AG) \quad \text{Ecuación 18-1}$$

La ecuación del SONAR pasivo es muy simple en comparación con la del activo, ya que los sonares pasivos no escuchan los ecos que regresan de un objeto. (University of Rhode Island, 2013)

donde:

SL = Nivel de la Fuente (Source Level)

TL = Perdida de Transmisión (Transmission Loss)

NL = Nivel de Ruido (Noise Level)

SNR = Relación Señal – Ruido (Signal – to – Noise Ratio)

AG = Ganancia dl Sistema (Array Gain)

1.9.4 Umbral de detección del SONAR

La tecnología SONAR utiliza ondas acústicas para detectar y localizar objetos. Los sistemas de sonar activos transmiten un pulso de sonido y luego escuchan los ecos y los sistemas de sonar pasivo escuchan sonidos submarinos para detectar las señales de interés. (University of Rhode Island, 2013)

Los niveles relativos de la señal de interés y el ruido de fondo en el agua determinan si un sistema de sonar puede detectar o no el eco de un objeto, o detectar un sonido que fue generado por una fuente. Para decidir si hay o no una señal en el sistema, se establece un umbral de detección tal

que cuando la relación señal-ruido en el receptor excede este umbral, se decide que existe una señal, lo contrario sucede cuando la relación señal-ruido está por debajo del umbral de detección.

La ecuación 14-1 mencionada anterior es una forma sistemática de estimar la relación señal-ruido esperada por un sistema SONAR en un momento, lugar y profundidad específicos. Se utiliza versiones diferentes de la ecuación del SONAR para los sistemas de sonar pasivo y activo. La relación señal-ruido para un SONAR activo es:

$$SNR = SL - 2TL + TS - NL \quad \text{Ecuación 14-1}$$

Si la cantidad de la relación señal-ruido excede el umbral de detección (DT) se denomina exceso de señal (SE).

$$SE = SNR - DT = (SL - 2TL + TS - NL) - DT \quad \text{Ecuación 19-1}$$

Si el exceso de señal es mayor que 0 dB, entonces se toma la decisión de que el objeto está presente, si es negativo sucede todo lo contrario. (University of Rhode Island, 2013)

donde:

SL = Nivel de la Fuente (Source Level)

TL = Perdida de Transmisión (Transmission Loss)

TS = Intensidad del Objeto (Target Strength)

NL = Nivel de Ruido (Noise Level)

SNR = Relación Señal – Ruido (Signal – to – Noise Ratio)

SE = Exceso de Señal (Signal Excess)

DT = Umbral de Detección (Detection Threshold)

1.10 Aplicaciones del SONAR

1.10.1 Primeros sistemas

La localización se empleó a principios del siglo anterior para rastrear objetos en las profundidades de los océanos, esta técnica toma fuerza a posteriormente y durante la segunda guerra mundial, los métodos desarrolladas en este lapso de tiempo las técnicas fueron clasificadas por medidas de seguridad.

Los primeros sistemas funcionaban con una onda simple de amplitud modulada, pero las profundidades que alcanzaba eran muy bajas ya que la frecuencia que se utilizaba, oscilaba entre los 200 KHZ a 1.4MHz y era demasiado alta, lo que reducía la resolución y la confiabilidad del sistema. Actualmente se utiliza transductores multihaz o de onda múltiple que permiten conseguir información, mientras que los sondas mono haz son utilizados para cuantificar solamente distancias. (Brazales, 2016, p. 7)

1.10.2 Batimetría

La batimetría se refiere a las técnicas que se puede utilizar para el estudio de las profundidades acuáticas, la más utilizada de todas las técnicas es la ecolocalización que proporciona una mayor resolución y los datos obtenidos son más realista. Para la localización o el mapeo de la superficie marina las distancias se calculan a partir de la recepción de las señales reflejadas en las profundidades del fondo marino, en otras palabras, se utiliza el eco de una señal ultrasónica emitida desde alguna fuente.

Los ecolocalizadores están relacionados con el alcance, el tiempo y la velocidad de muestreo, siendo el sistema menos invasivo para el hábitat acuático. Estos trabajos de batimetría se les conoce como topografía hidrográfica o cartografía náutica. (Brazales, 2016, pp. 8-9)

1.10.3 Funcionamiento de un ecolocalizador

Para la detección de objetos los sistemas de ecolocalización se basan en la emisión de ondas ultrasónicas, las cuales son producidas desde en un procesador por medio de un circuito que impulsa al transductor emisor a enviar ondas sonoras, y posteriormente las ondas son reflejadas que chocan contra un objeto regresan en forma de ecos, las cuales son captadas por un transductor receptor.

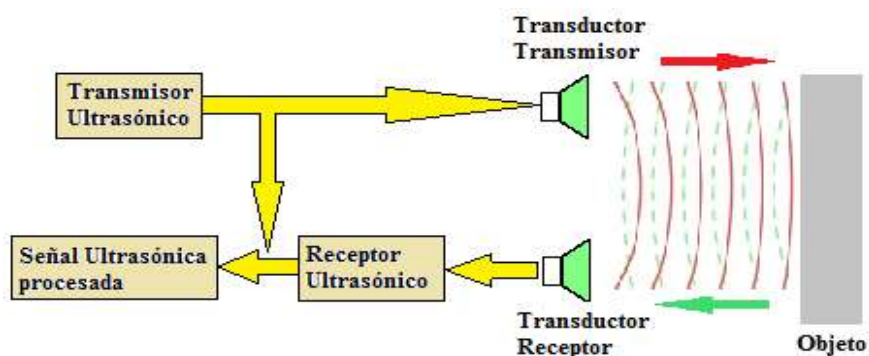


Figura 31-1: Diagrama básico de un Ecolocalizador

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

1.10.4 Método de análisis

1.10.4.1 Tiempo de vuelo TOF (time of flight)

Se describe al tiempo de vuelo como el periodo de tiempo que transcurre desde el punto de salida de la onda hasta la llega del eco. Mediante este método se aplica el modelo matemático del movimiento rectilíneo uniforme.

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{Ecuación 20-1}$$

donde.

$v = \text{velocidad}$

$d = \text{distancia}$

$t = \text{tiempo}$

De la ecuación anterior, se debe considerar la velocidad del sonido en el agua y despejamos la variable que deseamos encontrar que en este caso es la distancia además reemplazamos el TOF de la siguiente manera:

$$d = c * \frac{TOF}{2} \quad \text{Ecuación 21-1}$$

donde,

$c = \text{velocidad del sonido en el agua}$

$d = \text{distancia entre un obstaculo y el sistema}$

$TOF = \text{tiempo de vuelo}$

El valor del TOF se lo divide para dos ya que se asume que el tiempo en que tarda en ir y regresar el sonido es constante, por lo que se utiliza la mitad del TOF para realizar el cálculo de la distancia a la que se encuentra el objeto.

1.10.4.2 Métodos de estimación del TOF

Cuando se ha emitido el pulso y este choca con un objeto, el eco que retorna al sistema regresa con un ruido que proviene de otras fuentes sonoras. Entonces la estimación del tiempo de vuelo

(TOF) se determina con algún método que permita distinguir únicamente solo la señal eco. Los métodos que más se utiliza son lectura de umbral y el de correlación cruzada. Frecuentemente se utiliza estos métodos para medidas de corta distancia. (Brazales, 2016, p. 13)

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta el análisis de la selección del dispositivo que permite ubicar objetos en diferentes ambientes acuáticos, los escenarios de estudio y se diseña un escenario para el posicionamiento de objetos.

2.1 Diseño metodológico

La metodología que se utiliza es de carácter mixto ya que es una investigación tecnológica experimental, en donde se aplica el método inductivo para la recolección de la información necesaria que permitirá determinar las características necesarias para que el sistema de posicionamiento sea el más adecuado en la localización de objetos.

2.2 Escenario

Para la ejecución de las pruebas de funcionamiento del dispositivo se consideró tres diferentes ambientes teniendo en cuenta los factores como son la profundidad, la temperatura y la salinidad. Se evaluó en los tres escenarios al objeto en condiciones de profundidad similar. para verificar el efecto que produce sobre el posicionamiento acuático de objetos.

2.2.1 *Escenario A*

En el escenario A tenemos una profundidad de 50 centímetros de profundidad y 49 centímetros de diámetro, con una temperatura de 17° centígrados, para la salinidad del agua debemos considerar que estamos trabajando con agua potable y según datos de la Secretaria Nacional del Agua la salinidad del agua para consumo humano esta entre 0.05 y 3 %, es decir, existe de 0.05 a 3 gramos de sal por cada litro de agua.

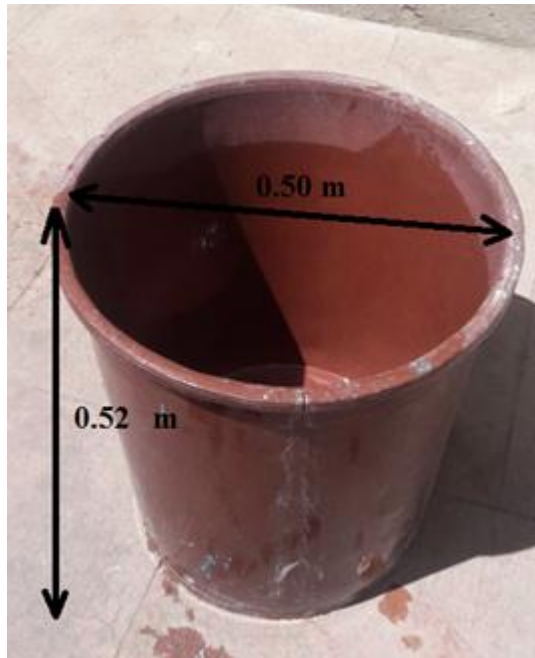


Figura 1-2: Medidas del escenario A.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

2.2.2 Escenario B

Como segundo escenario donde se ejecutan las pruebas tenemos la piscina de la ESPOCH. La piscina de la ESPOCH es semiolímpica con las siguientes dimensiones 25 metros de largo, 21 metros de ancho y existe una profundidad de 1.70 metros con una temperatura de 25° centígrados y la salinidad de una piscina debe mantenerse entre los 4 y 7 ppm, es decir que el agua está entre 4 y 7 gramos de sal por cada litro de agua. Como norma general se suele mantener la sal en una concentración de 5 ppm.



Figura 2-2: Ubicación de la piscina de la ESPOCH obtenida de Google Maps.

Fuente: Google Maps



Figura 3-2: Piscina de la ESPOCH parte posterior.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

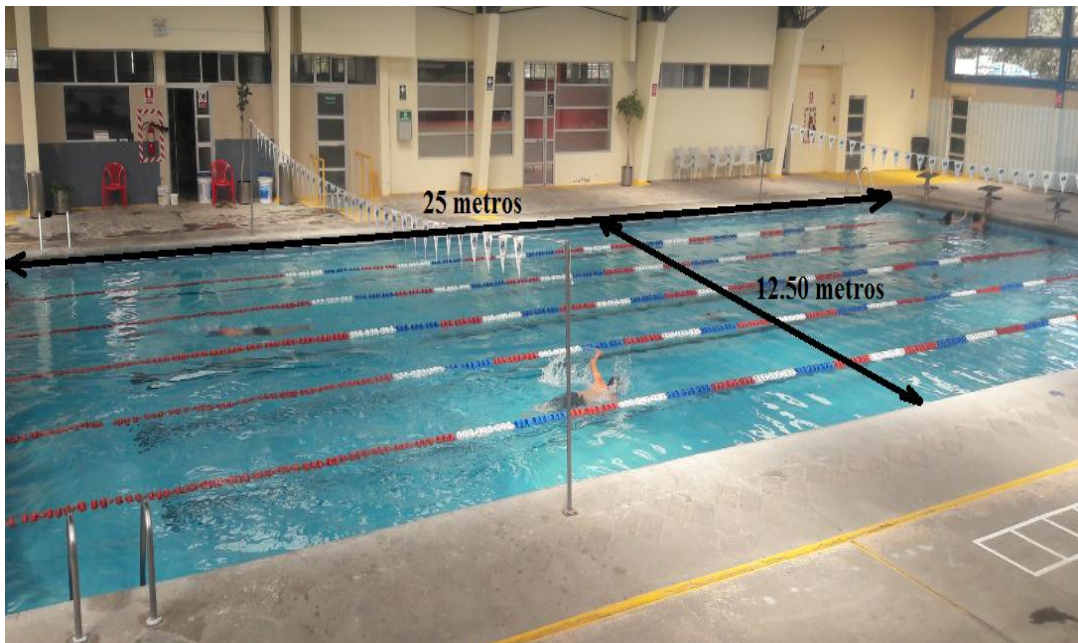


Figura 4-2: Piscina de la ESPOCH parte interior.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

2.2.3 Escenario C

La tercer área o escenario de pruebas es la laguna artificial del parque Guayaquil, conocido como parque infantil de Riobamba, circundado por las avenidas Daniel León Borja, Carlos Zambrano, Unidad Nacional y Primeras Olimpiadas. La laguna se encuentra a un costado del parque y la profundidad de dicho lugar no es uniforme ya que su máxima profundidad es de 1.20 metros y la mínima es de 0.80 metros con una temperatura que varía de las condiciones climáticas de la ciudad.

La laguna artificial del parque Olmedo como se mencionó en el párrafo anterior, la profundidad no es uniforme y para el análisis de este trabajo se consideró las tres profundidades que presenta el área de estudio, las cuales se presentaran a continuación. La temperatura de la laguna es de 21.1° centígrados y para la salinidad de la laguna consideramos que es agua salobre, es decir, es la concentración de agua de lluvia y agua dulce, lo que la convierte en agua concentrada y pueen llegar a tener una salinidad entre los 3 y 5 %, es decir el agua contiene de 3 0 5 gramos de sal por cada litro de agua.



Figura 5-2: Laguna artificial del parque Olmedo.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.



Figura 6-2: Laguna artificial del parque Olmedo.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

2.3 Selección del dispositivo de posicionamiento bajo el agua

Existen varios dispositivos profesionales y amateur en el mercado que permiten posicionar objetos bajo el agua mediante batimetría utilizando la técnica de ecolocalización. Los dispositivos de ecolocalización utilizan un transductor para generar las ondas sonoras que luego serán enviadas para la localización de objetos.

Una sonda o SONAR es un equipo que se encarga en posicionar y determinar la profundidad del agua a través del sonido mediante ondas sonoras. Su funcionamiento es básico, consiste en la recepción y emisión de ondas de sonido, las cuales son captadas por el transductor.

Así en el mercado podemos encontrar:

2.3.1 Tikitaka sonda

Tikitaka Sonar es un dispositivo profesional inalámbrico, que está compuesta por un sensor Sonar y una pantalla LCD. Puede alcanzar profundidades en un rango de 0.7 hasta 40 metros, trabaja a una frecuencia de 125 KHz y el ángulo del haz es de 90°, el dispositivo puede funcionar a una temperatura entre los -10° y 50° centígrados. Además, tiene incorporado un indicador de temperatura.



Figura 7-2: Dispositivo Tikitaka SONAR inalámbrico.

Fuente: <https://images-na.ssl-images-amazon.com>

2.3.2 *iBobber*

iBobber es un dispositivo que permite hacer un sondeo desde los 4 hasta los 135 pies de profundidad más o menos 40 metros, su batería tiene una duración de más de 10 horas y se puede recargar mediante USB, el ángulo del haz es de 42° con una frecuencia de 118 KHz, se sincroniza con un celular mediante bluetooth a una distancia máxima de 100 pies (30 metros).

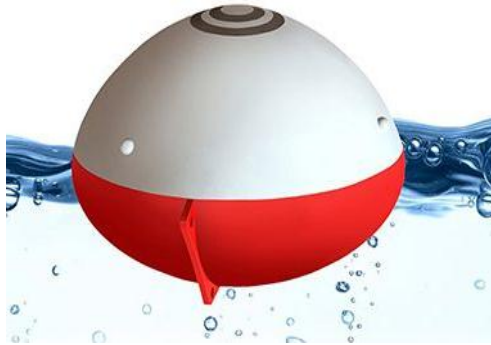


Figura 8-2: Dispositivo SONAR iBobber.

Fuente: <https://reelsonar.com>

2.3.3 *Lucky ffcw1108*

A diferencia de iBobber el dispositivo Lucky está compuesto por dos módulos. La pantalla es LCD de 2 pulgadas y es resistente al agua, su alimentación se la hace mediante pilas alcalinas AAA. Y el SONAR genera un haz de 45° con una frecuencia de 125 KHz, tienen una capacidad de profundidad de 130 pies más o menos 40 metros, y se conecta inalámbricamente hasta a una distancia de 120 metros.



Figura 9-2: Dispositivo SONAR Lucky.

Fuente: <http://img.dxcn.com>

2.3.4 *Kupet*

El dispositivo Kupet ofrece una pantalla LED en la cual se puede mostrar la temperatura del agua y la profundidad, el sensor SONAR puede alcanzar una profundidad de 130 hasta 260 pies y se comunica con el módulo mediante una frecuencia de 2.4 GHz.



Figura 10-2: Dispositivo SONAR Kupet.

Fuente: <https://images-na.ssl-images-amazon.com>

2.3.5 *Fish Finder*

El Fish Finder es un dispositivo de ecolocalización que incluye una sonda de 8 metros adherida a la pantalla LCD. Alcanza una profundidad de hasta 100 metros, el ángulo del haz del SONAR es de 45° y trabaja con una frecuencia de 125KHz. Puede trabajar a temperaturas inferiores a -18° centígrados y su diseño compacto es resistente al agua.



Figura 11-2: Dispositivo Fish Finder.

Fuente: <https://images-na.ssl-images-amazon.com>

2.3.6 Lawrence HDS-7

El sistema Lawrence integra tecnología de punta, tiene integrado un GPS de 10Hz, ranuras duales de tarjetas microSD y los últimos avances en tecnología de navegación. El sistema de ecolocalización alcanza una profundidad de 300 metros, tiene incorporado un transductor que puede variar su frecuencia entre los 83 y 200 KHz. Tiene un monitor con una pantalla de color TFT, multitáctil de 7 pulgadas.



Figura 12-2: Sonda Lawrence.

Fuente: <https://images-na.ssl-images-amazon.com>

Tabla 1-2: Características de los dispositivos SONAR's.

Dispositivos	Profundidad (metros)	Frecuencia (KHz)	Angulo del Haz	Precio \$
Tikitaka Sonda	40	125	45°	95
IBobber	40	118	42°	85
Lucky ffw1108	40	125	45°	110
Kupet	80	-	-	70
Fish Finder	100	125	45°	115
Lawrence HDS-7	300	83 – 200	-	2225

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

De los siguientes dispositivos se analiza cual es el que mejor se adapta al objeto de estudio, que es dar un marco de referencia para el posicionamiento bajo el agua en pequeñas dimensiones y

para su comparación se considera las características, para posteriormente seleccionar mediante el método de ponderación:

Tabla 2-2: Ponderación para elegir el dispositivo que se utilizara.

Dispositivos	Profundidad (metros)	Frecuencia (KHz)	Angulo del Haz	Precio \$	Ponderación
Tikitaka Sonda	3	5	10	5	23
iBobber	3	10	5	8	26
Lucky ffw1108	3	5	10	3	21
Kupet	5	0	0	10	15
Fish Finder	8	5	10	3	26
Lawrence HDS- 7	10	10	0	1	21

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Para la ponderación utilizamos una escala de 1-10 y tomamos a la ponderación de 10 como sobresaliente, 8 como muy bueno, 5 como regular, 3 como malo y 1 como muy malo.

Fish Finder y iBobber obtienen la misma ponderación, el inconveniente al adquirir estos dispositivos es el siguiente, Fish Finder solo está disponible en el mercado europeo y iBobber disponible en el mercado americano, es por esa razón que se optó por la segunda opción, que es la más conveniente al momento de adquirirlo. Además iBobber se ajusta a los parámetros del escenario.

2.4 Dispositivo iBobber

iBobber envía una onda de sonido con una frecuencia 118 kHz por su transductor la cual al chocar con un objeto o una base es reflejada hacia el receptor. El dispositivo puede estar estático o puede hacer un mapeo de la superficie de hasta 30 metros de distancia, mediante un barrido de un solo haz que es lo que maneja iBobber y su batería recargable tiene una duración de más de 10 horas.

Se utiliza principalmente para la medición de distancias hacia un objeto o una superficie y el método que utiliza se basa en el tiempo de vuelo para la localización de objetos, lo cual permite calcular la distancia del objeto y el sistema de posicionamiento.

2.4.1 El Transductor

El transductor es la parte más importante del dispositivo, ya que es el encargado de generar las ondas sonoras que permitirán localizar los objetos bajo el agua. El transductor es un artefacto que permite convertir la energía eléctrica en energía sonora y viceversa. Este tipo de sistemas funcionan de la siguiente manera:

- En el modo de transmisión el transductor transforma la energía de oscilación del sistema eléctrico en vibraciones mecánicas, las cuales luego producen ondas sonoras.
- En el modo de recepción el transductor transforma las vibraciones de los ecos recibidos, en oscilaciones de voltaje.

2.4.1.1 Patrón de directividad del transductor

En el uso de sistemas sonar para la detección y ubicación de objetos, es necesario generar ondas sonoras que se puedan emitir y recibir dentro de un haz bien definido. El efecto que se tiene al dirigir un sonido dentro de un haz es similar a la de un reflector. Solo el objeto dentro del ancho del haz, será detectado.

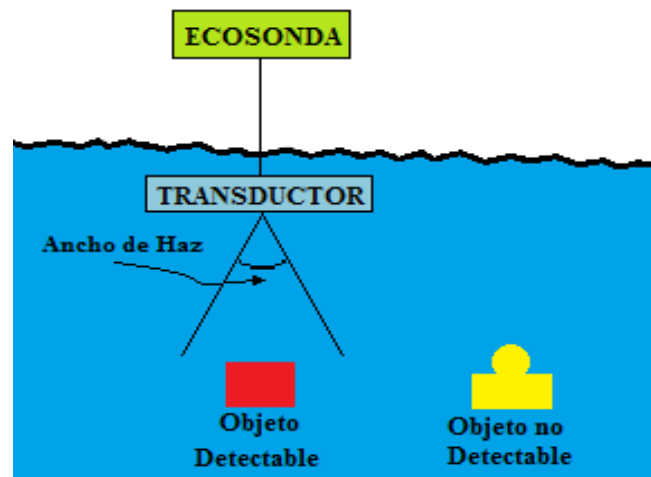


Figura 13-2: Detección de objetos por medio de un transductor

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

La intensidad más alta en el patrón de directividad de un transductor circular, se encuentra a lo largo del eje. Donde la desviación del eje aumenta y la intensidad decrece a un mínimo para posteriormente aumentar a un valor mucho menor que el máximo en el eje, y luego disminuye, y así sucesivamente. La región que está cercana al eje se le conoce como lóbulo principal del haz,

y los sucesivos picos más pequeños alrededor del lóbulo principal se le conoce como lóbulos laterales.



Figura 14-2: Patrón de Directividad del dispositivo iBobber.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Debido al patrón de directividad del transductor, no se puede definir de forma simple el volumen de agua que es cubierta por el haz y no se puede interpretar de forma correcta los ecos recibidos. El receptor de un sistema SONAR no puede proveer información sobre la orientación del objeto, es decir no se puede decidir si el eco de una onda sonora choco contra un objeto pequeño o un objeto grande.

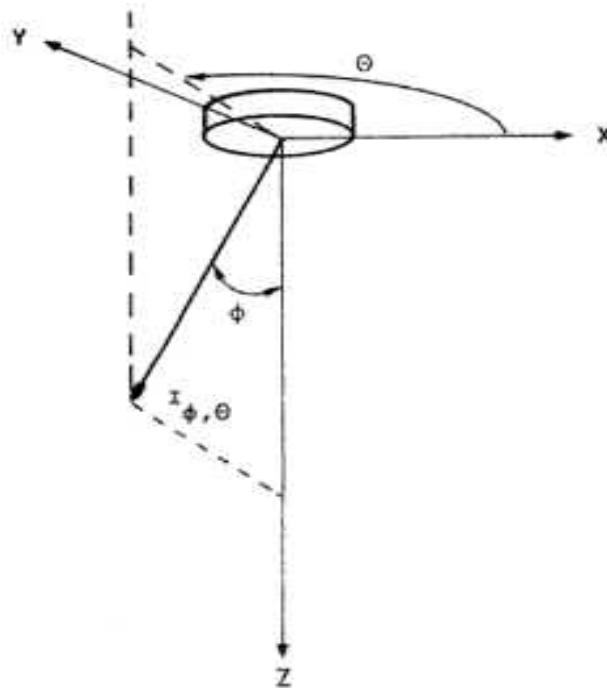


Figura 15-2: Vista tridimensional de las coordenadas del patrón de directividad

Fuente: (Burczynski, 1982, p. 12)

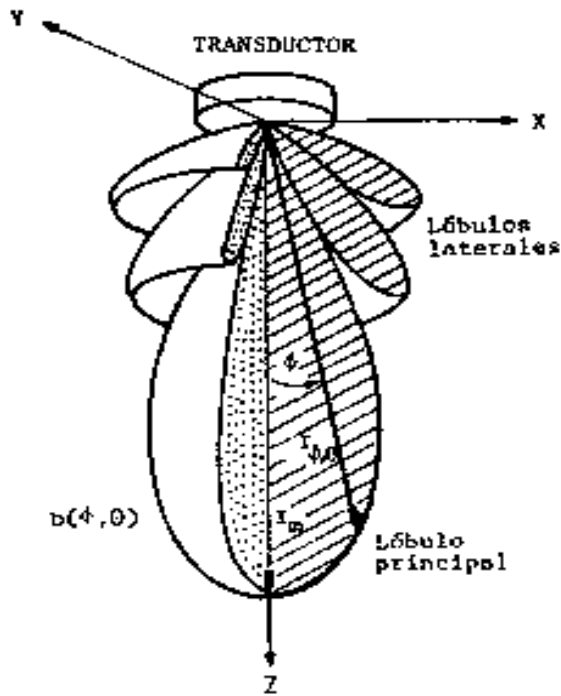


Figura 16-2: Vista tridimensional del patrón de directividad

Fuente: (Buczynski, 1982, p. 12)

2.4.2 Conexión entre iBobber y un dispositivo

El dispositivo iBobber se sincroniza con un teléfono inteligente o una tableta que utilizan Bluetooth Smart 4.0 o superior y es compatible con los sistemas operativos iOS (Apple) y Android.



Figura 17-2: Conexión entre iBobber y el celular.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

2.5 Datos observados (muestreados)

Para los cálculos teóricos de la velocidad de la onda de sonido, consideramos las ecuaciones mencionadas en el capítulo anterior, estimamos cual es la mejor ecuación que se adapta a los escenarios que se eligió.

Tabla 3-2: Características de las ecuaciones de la velocidad del sonido.

Autor	Rango Temp. °C	Rango de Profundidad (m)	Rango de Salinidad (ppm)	Números de Términos en la Formula
Del Grosso (1974)	0 – 35	0 – 10000	29 – 43	19
Medwin (1975)	0 – 35	0 – 1000	0 – 45	6
Mackenzie (1981)	-2 – 30	0 – 8000	25 – 40	9

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 4-2: Ponderación de las ecuaciones para el cálculo de la velocidad del sonido.

Autor	Temperatura	Profundidad	Salinidad	# Términos	Ponderación
Del Grosso	7	10	7	5	29
Medwin	7	5	10	10	32
Mackenzie	10	7	7	7	31

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Para la ponderación utilizamos el mismo concepto de la anterior tabla 2-2, en donde, se utiliza una escala del 1 al 10 y se toma a la ponderación de 9-10 como sobresaliente, 6-8 como muy bueno, 4-5 como regular, 3 como malo y 1 como muy malo.

Si bien la ecuación 5-1, de Del Grosso puede calcular la velocidad del sonido a una mayor profundidad, mediante el método de ponderación la ecuación 6-1, de Medwin ofrece una mayor precisión del cálculo, ya que los parámetros de temperatura, profundidad y salinidad se adaptan a los parámetros de los escenarios de estudio. A continuación, se detalla la ecuación:

$$c = 1449.2 + 4.6T + 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) - 0.106Z$$

con las siguientes condiciones,

$$0 \leq T \text{ } ^\circ\text{C} \leq 35$$

$$0 \leq \textit{Salinidad (ppm)} \leq 45$$

$$0 \leq Z(m) \leq 1000$$

Y para el cálculo de la distancia de un objeto y el tiempo en que tarda una onda de sonido al chocar con el mismo utilizamos la ecuación 21-1.

$$d = c * \frac{TOF}{2} \quad \text{ecuación 21-1}$$

Estas dos ecuaciones se utilizan en el cálculo de la distancia y de la velocidad que tiene el sonido en los diferentes escenarios.

2.5.1 Escenario A

Para el escenario A, tenemos los siguientes datos obtenidos con los instrumentos de medición de temperatura, conductímetro y de longitud los cuales proporcionaron los datos que se observa en las siguientes figuras.



Figura 18-2: Temperatura del agua del escenario A

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.



Figura 19-2: Conductividad del escenario A.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.



Figura 20-2: Medida de la profundidad del escenario A.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

La salinidad se obtiene con un conductímetro en *us/cm*, luego se realiza la conversión (ver Anexo A) para saber el porcentaje de sal que hay en el escenario. Entonces mediante la fórmula de Medwin podemos calcular la velocidad del sonido a través del agua, con los parámetros que se obtiene con el flexómetro y el termómetro digital. Y para el tiempo de vuelo (TOF) o tiempo en que tarda en ir y regresar el sonido, tomamos la distancia máxima entre el fondo del recipiente y la superficie.

Tabla 5-2: Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario A.

Temperatura	12.9	Centígrados
Salinidad	2	Partes por millón
Profundidad	0,515	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 5-2 muestra los datos que se obtiene con el flexómetro, el conductímetro y el termometro en el escenario A, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 6-2: Datos calculados, basados en los parámetros del escenario A.

Velocidad Calculada	1478.2975	mts/ seg
Distancia medida	0,515	Metros
Tiempo de Vuelo	0,000696747	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Con los datos obtenidos en el escenario A, se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el fondo del escenario.

2.5.2 Escenario B

En la piscina de la ESPOCH, utilizando un flexómetro, el medidor de temperatura digital y el conductímetro se obtuvo los siguientes datos.



Figura 21-2: Profundidad de la Piscina de la ESPOCH.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.



Figura 22-2: Conductividad de la Piscina de la ESPOCH.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.



Figura 23-2: Temperatura de la piscina de la ESPOCH.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Al igual que los datos del escenario A para saber la salinidad se tomo mediciones con un conductimetro y se realiza las conversiones (ver Anexo A) para el saber el porcentaje de sal en la piscina. Con los datos recogidos con los instrumentos de medicion utilizamos la fórmula de Medwin para calcular la velocidad del sonido en el agua. Y para calcular el tiempo de vuelo (TOF) tomamos la distancia máxima entre el fondo de la piscina y la superficie de la misma.

Tabla 7-2: Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario B.

Temperatura	25,5	Centígrados
Salinidad	9	Partes por millón
Profundidad	1,72	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 8-2: Datos calculados, basados en los parámetros del escenario B.

Velocidad Calculada	1578,680029	mts/ seg
Distancia medida	1,72	Metros
Tiempo de Vuelo	0,002179036	Segundos

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Con los datos obtenidos en el escenario B, se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el fondo del escenario.

2.5.3 Escenario C

Para la laguna artificial del parque Infantil tenemos una temperatura que varía dependiendo de las condiciones climáticas de la ciudad, y la profundidad de la laguna al no ser uniforme se hizo tomo tres puntos de mediciones las cuales se detallan a continuación. Para la salinidad al igual que los escenarios anteriores se tomo las mediciones con un conductímetro y luego se realiza las respectivas conversiones (ver Anexo A).



Figura 24-2: Temperatura de la laguna del parque Olmedo.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.



Figura 25-2: Conductividad de la laguna del parque Olmedo.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.



Figura 26-2: Puntos de prueba en la laguna del Parque Infantil

Fuente: Google Maps.



Figura 27-2: Profundidad del punto A de la laguna del parque Olmedo.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 9-2: Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario C – Punto A.

Temperatura	21,1	Centígrados
Salinidad	5	Partes por millón
Profundidad	0,81	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 9-2 muestra los datos que se obtiene con el flexómetro, el conductímetro y el termometro en el Punto A del escenario C, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 10-2: Datos calculados, basados en los parámetros del escenario C – Punto A.

Velocidad Calculada	1539,51493	mts/ seg
Distancia medida	0,81	Metros
Tiempo de Vuelo	0,001052279	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Con los datos obtenidos en el escenario C – Punto A, se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el objeto.

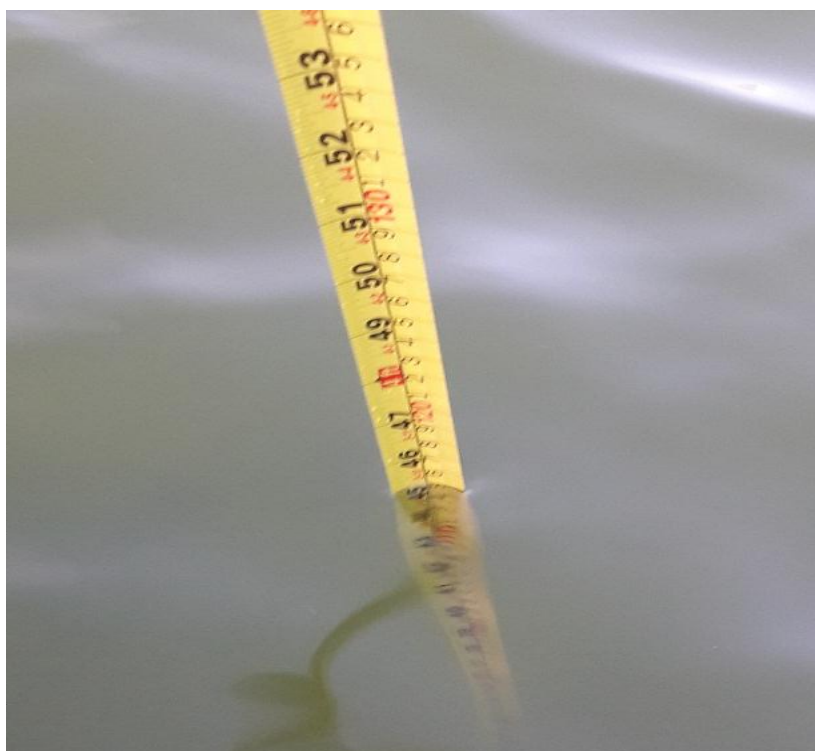


Figura 28-2: Profundidad del punto B de la laguna del parque Olmedo.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 11-2: Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario C – Punto B.

Temperatura	21,1	Centígrados
Salinidad	5	Partes por millón
Profundidad	1,15	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 11-2 muestra los datos que se obtiene con el flexómetro, el conductímetro y el termometro en el escenario C - Punto B, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 12-2: Datos calculados, basados en los parámetros del escenario C – Punto B.

Velocidad Calculada	1539,47889	mts/ seg
Distancia medida	1,15	Metros
Tiempo de Vuelo	0,001494012	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Con los datos obtenidos en el escenario C – Punto B, se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el fondo del escenario.



Figura 29-2: Profundidad del punto C de la laguna del parque Olmedo.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 13-2: Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario C – Punto C.

Temperatura	21,1	Centígrados
Salinidad	5	Partes por millón
Profundidad	1,32	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 13-2 muestra los datos que se obtiene con el flexómetro, el conductímetro y el termómetro en el escenario A, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 14-2: Datos calculados, basados en los parámetros del escenario C – Punto C.

Velocidad Calculada	1532,46087	mts/ seg
Distancia medida	1,32	Metros
Tiempo de Vuelo	0,001714886	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Con los datos obtenidos en el escenario C – Punto C, se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el fondo del escenario.

2.6 Datos obtenidos con el dispositivo iBobber.

2.6.1 Escenario A, datos obtenidos con la App.

Mediante la aplicación se obtuvo los datos de profundidad y temperatura. Los datos obtenidos por el dispositivo tienen una pequeña diferencia a comparación de los datos medidos con el flexómetro y el termómetro digital.

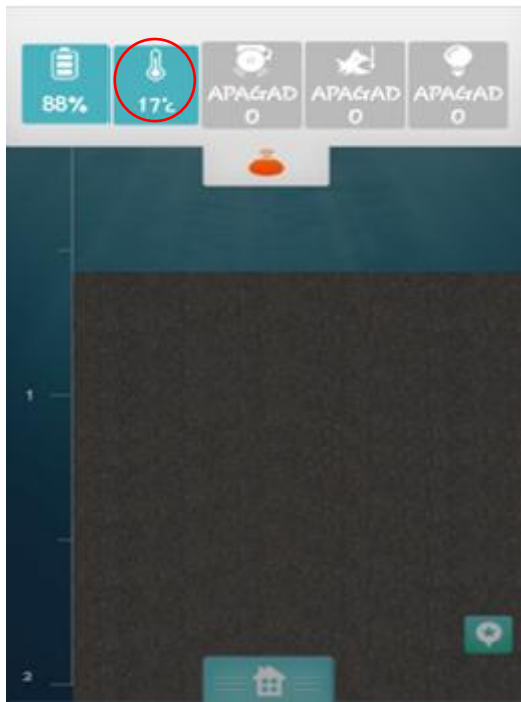


Figura 30-2: Temperatura del Escenario A.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

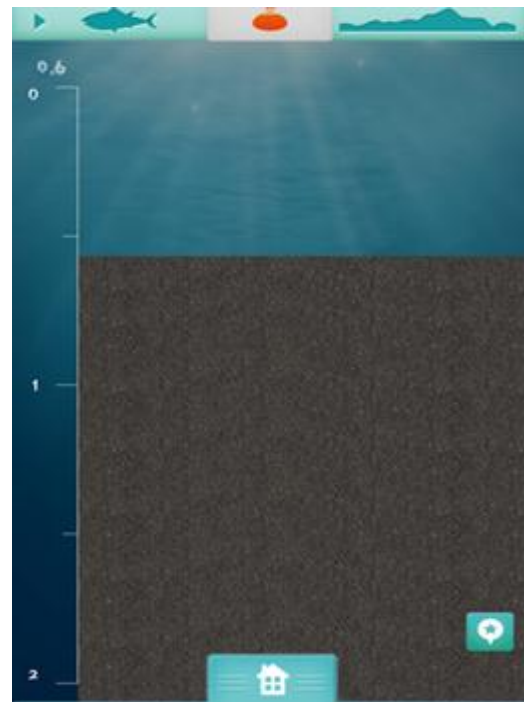


Figura 31-2: Profundidad del Escenario A.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 15-2: Muestras tomadas en el escenario A.

Real (0,512)	Distancia (m)
Muestra 1	0,5
Muestra 2	0,5
Muestra 3	0,5
Muestra 4	0,5
Muestra 5	0,6
Muestra 6	0,6
Muestra 7	0,5
Muestra 8	0,6
Muestra 9	0,5
Muestra 10	0,5
Media	0,53
Desviación estándar	0,048304589
Coefficiente de variación	9%

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Muestras tomadas en el escenario A en diferentes intervalos de tiempo con el dispositivo iBobber, para tener un mejor análisis de la profundidad que alcanza el dispositivo.

Tabla 16-2: Parámetros medidos con la App. de iBobber en el escenario A

Temperatura	17	Centígrados
Salinidad	2	Partes por millón
Profundidad	0,52	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 16-2 muestra los datos que se obtiene con iBobber en el escenario A, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 17-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario A.

Velocidad Calculada	1506.05465	mts/ seg
Distancia medida	0,52	Metros
Tiempo de Vuelo	0,000690546	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Utilizamos la profundidad de 0.52 m, que es la media de 10 muestras tomadas en el escenario en intervalos de 5 minutos y se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el fondo del escenario.

2.6.2 Escenario B, datos obtenidos con la App.

Con la aplicación del dispositivo se obtuvo datos de temperatura y profundidad, los cuales difieren con los datos medidos con el flexómetro y el termómetro digital. Los cuales permiten calcular la velocidad del sonido con los datos que se obtuvo en la app. Al igual que el escenario anterior se toma la profundidad de 1.71 m, que es la media de 10 muestras tomadas en la Piscina de 1:00 pm a 3:00 pm en intervalos de 5 minutos.



Figura 32-2: Temperatura del Escenario B.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.



Figura 33-2: Profundidad del Escenario B.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 18-2: Muestras tomadas en el escenario B.

Real (1,72)	Distancia (m)
Muestra 1	1,7
Muestra 2	1,7
Muestra 3	1,8
Muestra 4	1,7
Muestra 5	1,7
Muestra 6	1,6
Muestra 7	1,7
Muestra 8	1,7
Muestra 9	1,8
Muestra 10	1,7
Media	1,71
Desviación estándar	0,056764621
Coefficiente de variación	3%

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Muestras tomadas en el escenario B en diferentes intervalos de tiempo con el dispositivo iBobber, para tener un mejor análisis de la profundidad con el dispositivo.

Tabla 19-2: Parámetros medidos con la App. de iBobber en el escenario B.

Temperatura	27	Centígrados
Salinidad	9	Partes por millón
Profundidad	1,71	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 19-2 muestra los datos que se obtiene con iBobber en el escenario B, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 20-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario B.

Velocidad Calculada	1591,20181	mts/ seg
Distancia medida	1,71	Metros
Tiempo de Vuelo	0,002149319	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 1.71 m, que es la media de 10 muestras tomadas en el escenario en intervalos de 5 minutos y se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el fondo del escenario.

2.6.3 Escenario C, datos obtenidos con la App.

Los datos que se obtuvo en la aplicación de la temperatura y la profundidad se analizan a continuación con las fórmulas de Medwin, para calcular la velocidad del sonido que tendrá con los parámetros obtenidos con el dispositivo. En el escenario C se utiliza la profundidad de 0.87 m en el punto A, 1.14 m en el punto B y 1.3 en el punto C, que es la media de 10 muestras tomadas en los diferentes puntos del escenario en intervalos de 5 minutos.

Tabla 21-2: Muestras tomadas del escenario C en los tres puntos.

Punto A		Punto B		Punto C	
Real (0,81)	Distancia (m)	Real (1,15)	Distancia (m)	Real (1,32)	Distancia (m)
Muestra 1	0,9	Muestra 1	1,1	Muestra 1	1,3
Muestra 2	0,9	Muestra 2	1,1	Muestra 2	1,2
Muestra 3	0,9	Muestra 3	1,2	Muestra 3	1,2
Muestra 4	0,8	Muestra 4	1,1	Muestra 4	1,3
Muestra 5	0,9	Muestra 5	1,1	Muestra 5	1,3
Muestra 6	0,9	Muestra 6	1,2	Muestra 6	1,3
Muestra 7	0,9	Muestra 7	1,1	Muestra 7	1,3
Muestra 8	0,8	Muestra 8	1,1	Muestra 8	1,3
Muestra 9	0,8	Muestra 9	1,2	Muestra 9	1,4
Muestra 10	0,9	Muestra 10	1,2	Muestra 10	1,4
Media	0,87	Media	1,14	Media	1,3
Desviación estándar	0,048304589	Desviación estándar	0,051639778	Desviación estándar	0,066666667
Coefficiente de variación	6%	Coefficiente de variación	5%	Coefficiente de variación	5%

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Muestras tomadas en el escenario C en los tres puntos de análisis, en diferentes intervalos de tiempo con el dispositivo iBobber, para tener un mejor análisis de la profundidad con el dispositivo.

Tabla 22-2: Parámetros medidos con la App. de iBobber en el escenario C – Punto A.

Temperatura	23	Centígrados
Salinidad	5	Partes por millón
Profundidad	0,87	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 22-2 muestra los datos que se obtiene con iBobber en el escenario C – Punto A, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 23-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario C – Punto A.

Velocidad Calculada	1554,23121	mts/ seg
Distancia medida	0,87	Metros
Tiempo de Vuelo	0,001119525	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 0.87 m, que es la media de 10 muestras tomadas en el escenario en intervalos de 5 minutos y se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el objeto.

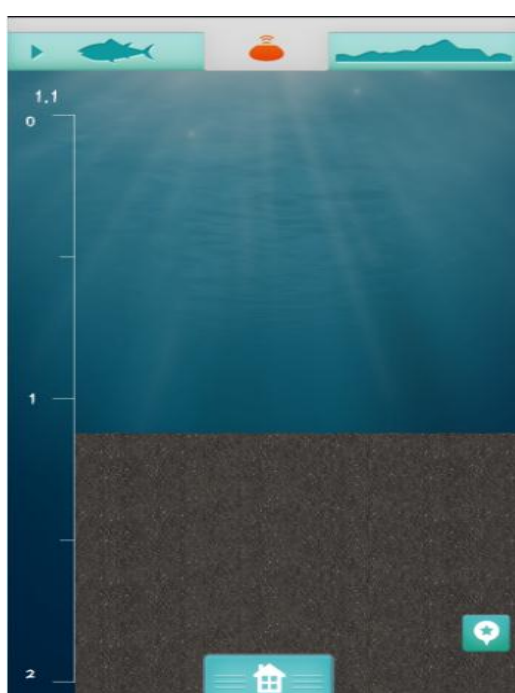


Figura 34-2: Profundidad del Esc. C–Punto B.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 24-2: Parámetros medidos con la App. de iBobber en el escenario C – Punto B.

Temperatura	23	Centígrados
Salinidad	5	Partes por millón
Profundidad	1,14	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 24-2 muestra los datos que se obtiene con iBobber en el escenario C – Punto B, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 25-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario C- Punto B.

Velocidad Calculada	1554,20259	mts/ seg
Distancia medida	1,14	Metros
Tiempo de Vuelo	0,00146699	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 1.14 m, que es la media de 10 muestras tomadas en el escenario en intervalos de 5 minutos y se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el fondo del escenario.

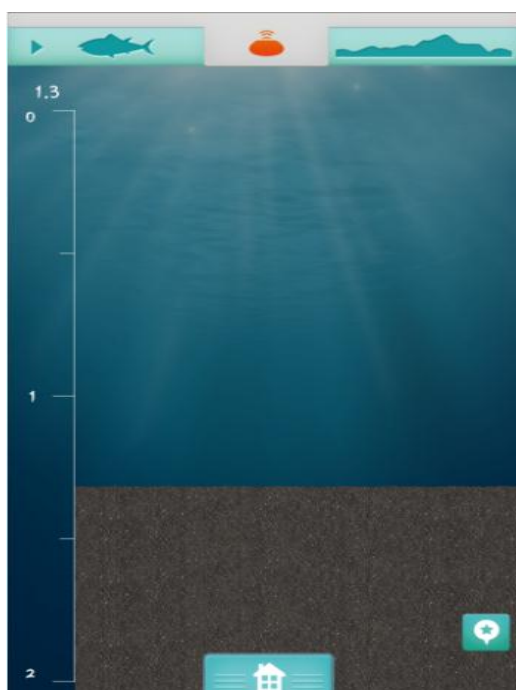


Figura 35-2: Profundidad del Esc. C–Punto C.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 26-2: Parámetros medidos con la App. de iBobber en el escenario C – Punto C.

Temperatura	23	Centígrados
Salinidad	5	Partes por millón
Profundidad	1,3	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 26-2 muestra los datos que se obtiene con iBobber en el escenario C – Punto C, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 27-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario C – Punto C.

Velocidad Calculada	1554,1856	mts/ seg
Distancia medida	1,3	Metros
Tiempo de Vuelo	0,001672902	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 1.14 m, que es la media de 10 muestras tomadas en el escenario en intervalos de 5 minutos y se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el fondo del escenario.

2.7 Datos obtenidos al introducir el objeto.

Para verificar cual es el posicionamiento que obtendremos al ubicar un objeto en el agua, tomamos un pequeño imán que servirá para poder calcular cual es la precisión entre el dispositivo de posicionamiento y el instrumento de medición. Los datos que se utiliza de temperatura y salinidad son los mismos que utilizaremos en los siguientes escenarios, los datos que varían son la profundidad ya que ahora tomamos la distancia que existe entre la superficie del agua y el objeto.

2.7.1 Escenario A con un objeto

Los datos tomados con el instrumento de medición, permite realizar los cálculos que a continuación se muestra.



Figura 36-2: Profundidad del objeto en el escenario A.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 28-2: Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario A y el objeto.

Temperatura	12,9	Centígrados
Salinidad	2	Partes por millón
Profundidad	0,21	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 28-2 muestra los datos que se obtiene con el flexómetro y el termómetro en el escenario C – Punto C, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 29-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario A y el objeto.

Velocidad Calculada	1478,32983	mts/ seg
Distancia medida	0,21	Metros
Tiempo de Vuelo	0,000284559	Seg.

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 0.21 m, que es la medida tomada con el flexómetro y se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el fondo del escenario.

Para ver si la medida tomada con el dispositivo se ve afectada por los factores de salinidad y temperatura al momento de posicionar un objeto se toma mediciones con el flexómetro para analizar si existe cambios entre la medida real y la obtenida con iBobber.

Los siguientes datos son tomados con el dispositivo de posicionamiento, los cuales permiten calcular la ubicación del objeto en el escenario A, la figura 39-2 que se muestra a continuación es cuando el objeto y el dispositivo se mantienen estáticos, pero para el análisis se tomo cuando el dispositivo esta en movimiento.

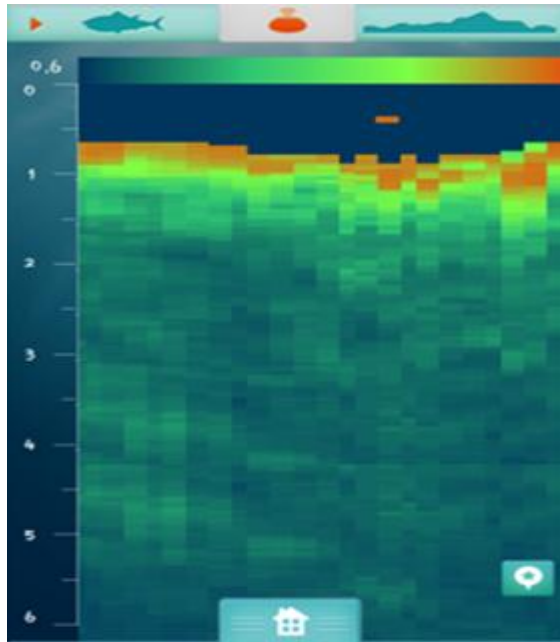


Figura 37-2: Profundidad del objeto tomada con la App. de iBobber en el escenario A.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 30-2: Muestras tomadas al insertar un objeto en el escenario A.

Escenario A – Objeto	
Real (0,21)	Distancia (m)
Muestra 1	0,4
Muestra 2	0,4
Muestra 3	0,4
Muestra 4	0,4
Muestra 5	0,3
Muestra 6	0,3
Muestra 7	0,5
Muestra 8	0,425
Muestra 9	0,425
Muestra 10	0,525
Media	0,4075
Desviación estándar	0,071734464
Coefficiente de variación	18%

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 0.407 m, que es la media de 10 muestras tomadas en el escenario en intervalos y el coeficiente de variación es de 18% de las muestras tomadas.

Tabla 31-2: Parámetros obtenidos en la App. en el escenario A y el objeto.

Temperatura	17	Centígrados
Salinidad	2	Partes por millón
Profundidad	0,4075	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 31-2 muestra los datos que se obtiene con iBobber en el escenario A y el objeto, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 32-2: Datos calculados, basados en los parámetros del escenario A y el objeto.

Velocidad Calculada	1506,06737	mts/ seg
Distancia medida	0,4075	Metros
Tiempo de Vuelo	0,000531185	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

2.7.2 Escenario B con un objeto

A continuación, tenemos los datos tomados con el instrumento de medición, los cuales permiten realizar los cálculos que se muestra.



Figura 38-2: Profundidad del objeto en el escenario B.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 33-2: Parámetros medidos con los instrumentos en el escenario B y el objeto.

Temperatura	25,5	Centígrados
Salinidad	9	Partes por millón
Profundidad	0,49	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 33-2 muestra los datos que se obtiene con el flexómetro y el termómetro, la salinidad es la misma en el escenario B y el objeto, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 34-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario B y el objeto.

Velocidad Calculada	1578,810409	mts/ seg
Distancia medida	0,49	Metros
Tiempo de Vuelo	0,000620721	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Los siguientes datos son tomados con el dispositivo de posicionamiento, los cuales permiten calcular la ubicación del objeto en el escenario B.

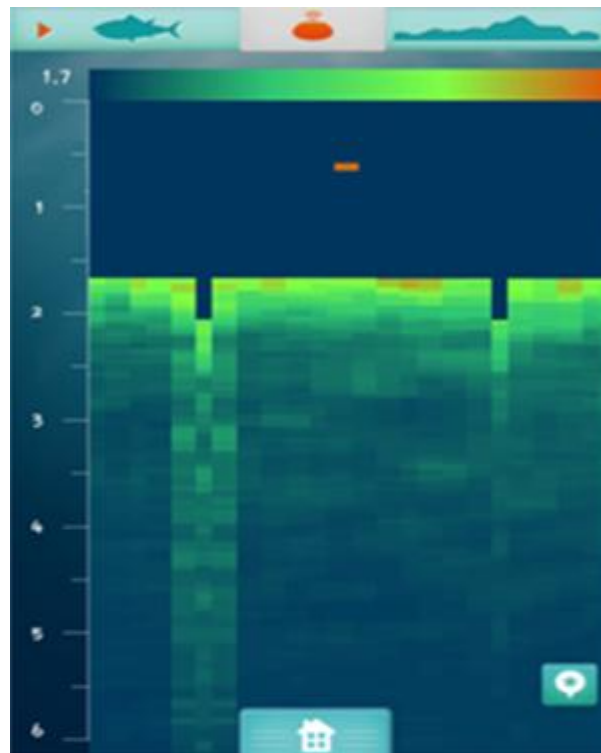


Figura 39-2: Profundidad del objeto tomada con la App. de iBobber en el escenario B.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 35-2: Muestras tomadas al insertar un objeto en el escenario C.

Escenario B – Objeto	
Real (0,49)	Distancia (m)
Muestra 1	0,6375
Muestra 2	0,6375
Muestra 3	0,53125
Muestra 4	0,6375
Muestra 5	0,6375
Muestra 6	0,74375
Muestra 7	0,6375
Muestra 8	0,6375
Muestra 9	0,53125
Muestra 10	0,6375
Media	0,626875
Desviación estándar	0,06031241
Coefficiente de variación	10%

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 0.626 m, que es la media de 10 muestras tomadas en el escenario en intervalos de 5 minutos y se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el objeto.

Tabla 36-2: Parámetros obtenidos en la App. en el escenario B y el objeto.

Temperatura	27	Centígrados
Salinidad	9	Partes por millón
Profundidad	0,626975	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 37-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario B y el objeto.

Velocidad Calculada	1591,31947	mts/ seg
Distancia medida	0,626875	Metros
Tiempo de Vuelo	0,000754091	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 0.626 m, que es la media de 10 muestras tomadas en el escenario en intervalos de 5 minutos y se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el objeto.

2.7.3 Escenario C con un objeto

A continuación, tenemos los datos tomados con el instrumento de medición, los cuales permiten realizar los cálculos que se muestra.



Figura 40-2: Profundidad del objeto en el escenario C.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 38-2: Parámetros medidos con el instrumento en el escenario C y el objeto.

Temperatura	21,1	Centígrados
Salinidad	5	Partes por millón
Profundidad	0,75	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 38-2 muestra los datos que se obtiene con el flexómetro y el termómetro, la salinidad es la misma en el escenario B y el objeto, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 39-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario C y el objeto.

Velocidad Calculada	1539,52129	mts/ seg
Distancia medida	0,75	Metros
Tiempo de Vuelo	0,000974329	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 0.75 m, que es la medida tomada con el flexometro en el escenario para calcular la velocidad del sonido y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el objeto.

Los siguientes datos son tomados con el dispositivo de posicionamiento, los cuales permiten calcular la ubicación del objeto en el escenario C.

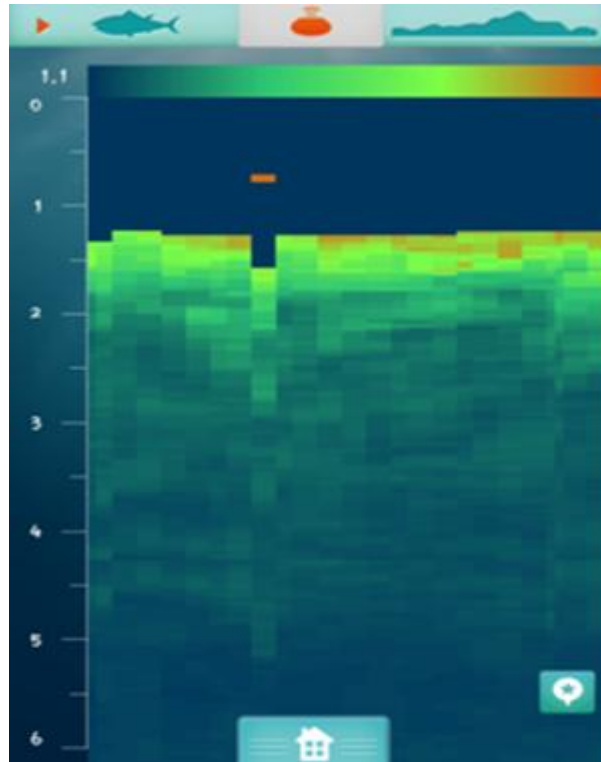


Figura 41-2: Profundidad del objeto tomada con la App. de iBobber en el escenario C.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 40-2: Muestras tomadas al insertar un objeto en el escenario C.

Escenario C – Objeto	
Real (0,75)	Distancia (m)
Muestra 1	0,65
Muestra 2	0,55
Muestra 3	0,65
Muestra 4	0,65
Muestra 5	0,55
Muestra 6	0,65
Muestra 7	0,65
Muestra 8	0,75
Muestra 9	0,65
Muestra 10	0,65
Media	0,64
Desviación estándar	0,056764621
Coficiente de variación	9%

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 0.64 m, que es la media de 10 muestras tomadas en el escenario en intervalos de 5 minutos y se calcula la velocidad del sonido que tiene en el escenario y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el objeto.

Tabla 41-2: Parámetros obtenidos en la App. en el escenario C y el objeto.

Temperatura	23	Centígrados
Salinidad	5	Partes por millón
Profundidad	0,64	Metros

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La tabla 41-2 muestra los datos que se obtiene con el flexómetro y el termómetro, la salinidad es la misma en el escenario C y el objeto, para calcular la velocidad y el tiempo de vuelo de la onda.

Tabla 42-2: Datos calculados, basados en los parámetros obtenidos en el escenario C y el objeto.

Velocidad Calculada	1554,24923	mts/ seg
Distancia medida	0,64	Metros
Tiempo de Vuelo	0,000900756	Seg

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Se utiliza la profundidad de 0.75 m, que es la medida tomada con el flexometro en el escenario para calcular la velocidad del sonido y el tiempo de vuelo en el que tarda la onda en ir desde el dispositivo hasta el objeto.

2.8 Datos tomadas en los 3 escenarios bajo la misma condicion de profundidad.

2.8.1 Datos tomados a una distancia de 0.49 metros.

En las figuras anteriores del escenario A, el valor de la profundidad era de 0.6 metros tomadas con el dispositivo. Para este nuevo analisis se cambio de escenario, las pruebas se realiza en una sisterna de uso domestico de aproximadamente 1.8 metros. La salinidad no cambia porque es agua potable, pero si la temperatura. A continuacion se muestra los datos obetindos en los 3 escenarios ubicando el obejto a 0.49 metros de distancia desde la profundidad.

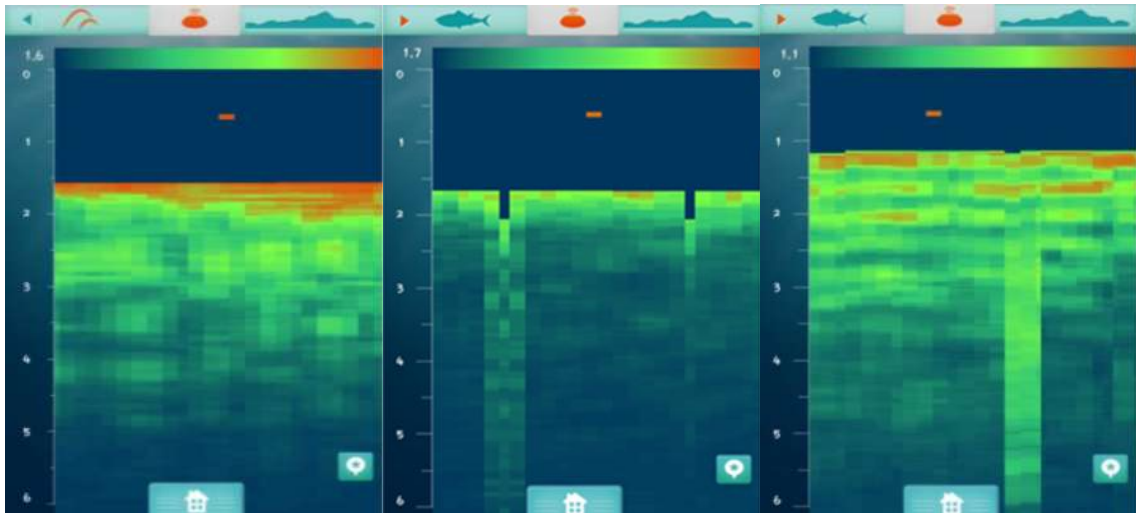


Figura 42-2: Medición del objeto a 49 cm en los tres escenarios.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 43-2: Muestras tomadas al ubicar un objeto a 0.49 metros en los 3 escenarios.

Escenario B – Objeto		Escenario B – Objeto		Escenario C – Objeto	
Real (0,49)	Distancia (m)	Real (0,49)	Distancia (m)	Real (0,49)	Distancia (m)
Muestra 1	0,65	Muestra 1	0,6375	Muestra 1	0,6147
Muestra 2	0,7	Muestra 2	0,6375	Muestra 2	0,582352941
Muestra 3	0,7	Muestra 3	0,53125	Muestra 3	0,711764705
Muestra 4	0,65	Muestra 4	0,6375	Muestra 4	0,647058823
Muestra 5	0,6	Muestra 5	0,6375	Muestra 5	0,711764705
Muestra 6	0,7	Muestra 6	0,74375	Muestra 6	0,647058823
Muestra 7	0,7	Muestra 7	0,6375	Muestra 7	0,6147
Muestra 8	0,65	Muestra 8	0,6375	Muestra 8	0,711764705
Muestra 9	0,6	Muestra 9	0,53125	Muestra 9	0,6147
Muestra 10	0,7	Muestra 10	0,6375	Muestra 10	0,647058823
Media	0,655	Media	0,626875	Media	0,650292353
Desviación estándar	0,043779752	Desviación estándar	0,06031241	Desviación estándar	0,046885354
Coefficiente de variación	7%	Coefficiente de variación	10%	Coefficiente de variación	7%
Temperatura	18	Temperatura	26	Temperatura	23
Salinidad	2	Salinidad	9	Salinidad	5

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Para verificar si el posicionamiento acuático se ve afectado por la salinidad y la temperatura se toma 10 muestras en cada escenario ubicando el objeto a una distancia de 0.49 metro, que es la medida tomada por el flexómetro.

2.8.2 Datos tomados a una distancia de 0.75 metros.

Para poder realizar un mejor análisis del posicionamiento de objetos se tomó pruebas a una distancia de 0.75 metros en los tres escenarios. Las cuales se muestran a continuación:

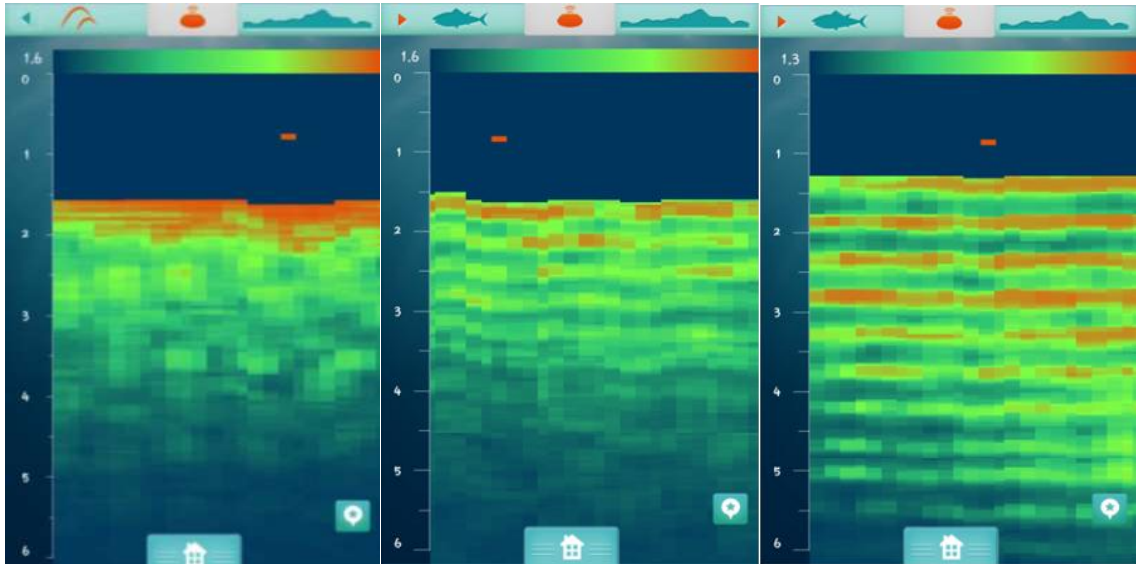


Figura 43-2: Medición del objeto a 75 cm en los tres escenarios.

Tabla 44-2: Muestras tomadas al ubicar un objeto a 0.75 metros en los 3 escenarios.

Escenario A – Objeto		Escenario B - Objeto		Escenario C - Objeto	
Real (0,49)	Distancia (m)	Real (0,75)	Distancia (m)	Real (0,75)	Distancia (m)
Muestra 1	0,825	Muestra 1	0,8125	Muestra 1	0,752631
Muestra 2	0,8	Muestra 2	0,83	Muestra 2	0,88947368
Muestra 3	0,85	Muestra 3	0,8	Muestra 3	0,82105263
Muestra 4	0,75	Muestra 4	0,8	Muestra 4	0,855263157
Muestra 5	0,75	Muestra 5	0,8125	Muestra 5	0,957894736
Muestra 6	0,85	Muestra 6	0,9	Muestra 6	0,752631578
Muestra 7	0,8	Muestra 7	0,73333	Muestra 7	0,957894736
Muestra 8	0,95	Muestra 8	0,83	Muestra 8	0,786842105
Muestra 9	0,825	Muestra 9	0,8	Muestra 9	0,711764705
Muestra 10	0,95	Muestra 10	0,8125	Muestra 10	0,821056331
Media	0,835	Media	0,813083	Media	0,830650466
Desviación estándar	0,06992059	Desviación estándar	0,04082754	Desviación estándar	0,084891637
Coefficiente de variación	8%	Coefficiente de variación	5%	Coefficiente de variación	10%
Temperatura	19	Temperatura	25	Temperatura	23
Salinidad	2	Salinidad	9	Salinidad	5

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Para verificar si el posicionamiento acuático se ve afectado por la salinidad y la temperatura se toma 10 muestras en cada escenario ubicando el objeto a una distancia de 0.75 metro, que es la medida tomada por el flexómetro.

2.9 Diseño de un marco de georeferenciación para el posicionamiento acuático de objetos

Si bien entre uno de los objetivos planteados, se estipula el diseño e implementación de un prototipo de posicionamiento, existieron varios inconvenientes los cuales no permitieron desarrollar el prototipo. El dispositivo electrónico JSN-SR04T es un sensor ultrasónico que genera pulsos ultrasónicos de 40 KHz, la potencia que genera este dispositivo no es lo suficiente para atravesar la membrana con la que esta construido el transductor piezoeléctrico en el agua.

Como segunda opción se estudio la posibilidad de adquirir un transductor piezoeléctrico. Los transductores piezoeléctricos producen una carga eléctrica cuando se le aplica una tensión mecánica, y producen una tensión mecánica cuando se les induce una carga eléctrica .

En otras palabras, se estudió la posibilidad de mediante pequeños pulsos eléctricos deformar el piezoeléctrico para producir ondas sonoras, pero el inconveniente que se encontró fue que, los transductores piezoeléctricos necesitan de un recubrimiento especial para poder introducirlos en el agua, y en el mercado no es posible adquirir este tipo de sustancias químicas.

Es por ese motivo que se opto por la compra de un dispositivo amateur, el cual permite desarrollar los objetivos planteados en el trabajo de titulación. Para cumplir este objetivo se diseña un esquema de posicionamiento a través de iBobber para la piscina de la ESPOCH. La piscina de la ESPOCH tiene un ancho de 12.5 metros y una longitud de 25 metros, mencionadas anteriormente.

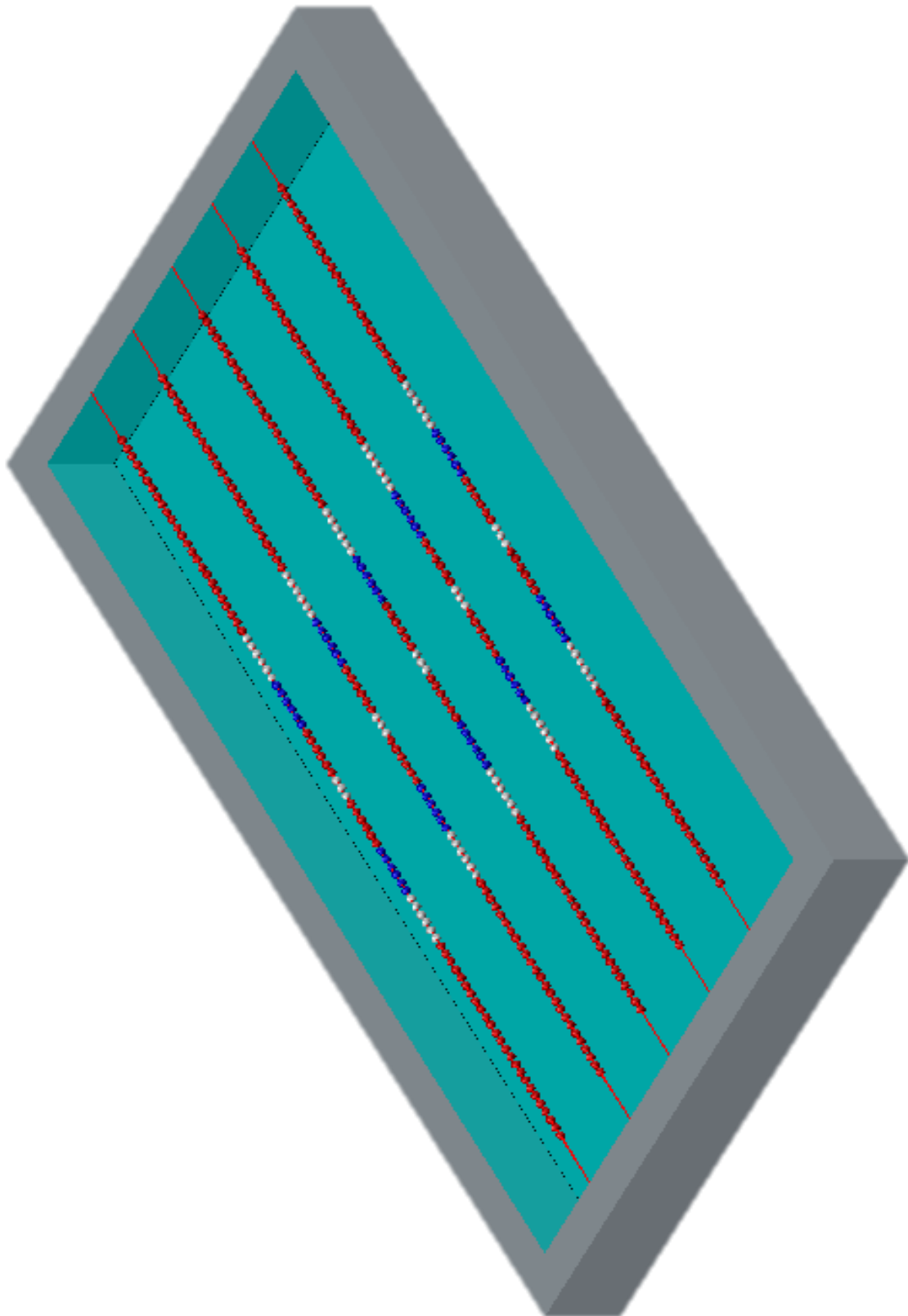


Figura 44-2: Diseño de la piscina de la ESPOCH en AUTOCAD

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

El dispositivo iBobber, con el que se realiza el prototipo de posicionamiento tiene un piezoelectrico de radiacion de 42° y alcanza una profundidad maxima de 40 metros, y puede

alcanzar un diámetro de 74 metros de radiación máxima en el fondo. Lo que permite utilizar este dispositivo en la piscina.

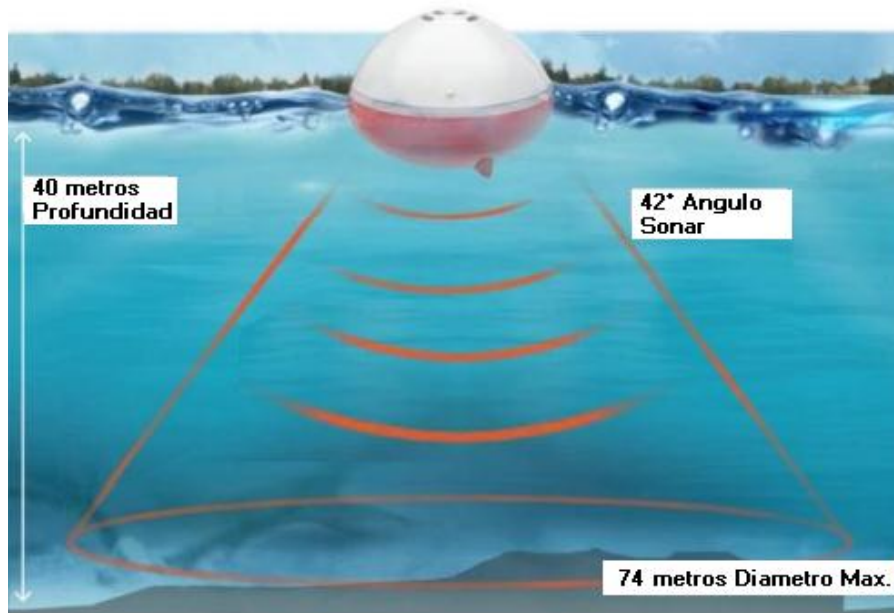


Figura 45-2: Características de radiación del dispositivo iBobber.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Utilizando estas características de radiación de iBobber, se realizó un análisis de la radiación que tiene el dispositivo en el agua y se toma la decisión de poner dos dispositivos en un costado de la piscina, con un diferente ángulo, de tal manera que permita cubrir la totalidad del área de estudio. Y se utilizó el programa AutoCAD para poder graficar la radiación y el comportamiento que tiene el dispositivo.

Mediante las características de radiación que tiene el dispositivo, ya sea de profundidad y el diámetro máximo que tiene en el agua, utilizando el programa AUTOCAD se construyó los siguientes escenarios. En los cuales se ubica el dispositivo en diferentes puntos y con un ángulo que permite mantener la comunicación entre el dispositivo y la aplicación, de tal manera que pueda cubrir la mayor área posible con el menor número de dispositivos.

a) Área cubierta con un dispositivo en la mitad de la piscina

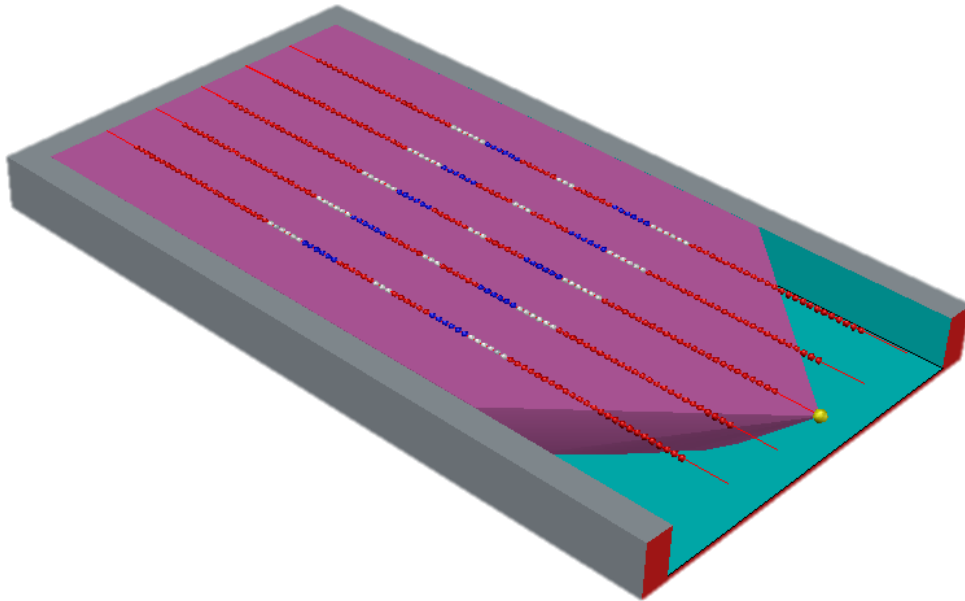


Figura 46-2: Área de radiación con el dispositivo ubicado en la mitad de la piscina.

La parte magenta pertenece a la radiación que tiene el dispositivo y la parte cian es el área que no tiene radiación, es la parte que no es cubierta por el sonar. La radiación del dispositivo logra cubrir el 85 %, si bien existe un 15% en el cual no se puede detectar objetos.

Tabla 45-2: Porcentaje de la piscina cubierta con un dispositivo.

	Volumen (m^3)	Porcentaje
Piscina	531.25	100 %
Magenta	454.4422	85.54 %
No cubierta	76.8078	14.46 %

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

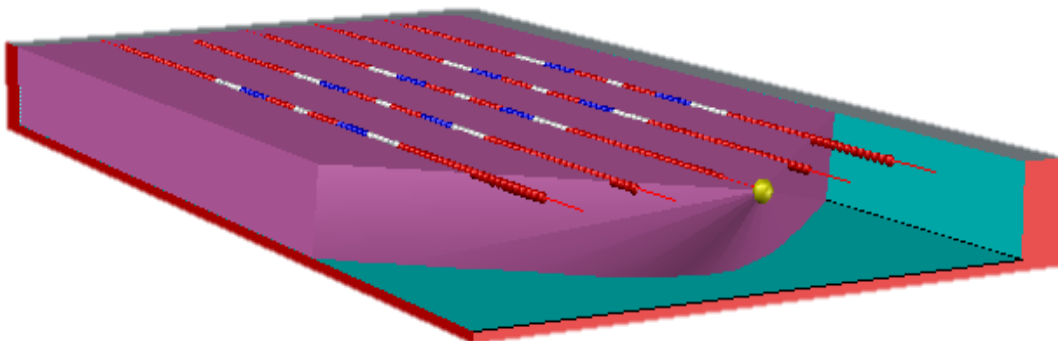


Figura 47-2: Área de radiación con un dispositivo plano isométrico.

b) Área cubierta con un dispositivo en un costado de la piscina

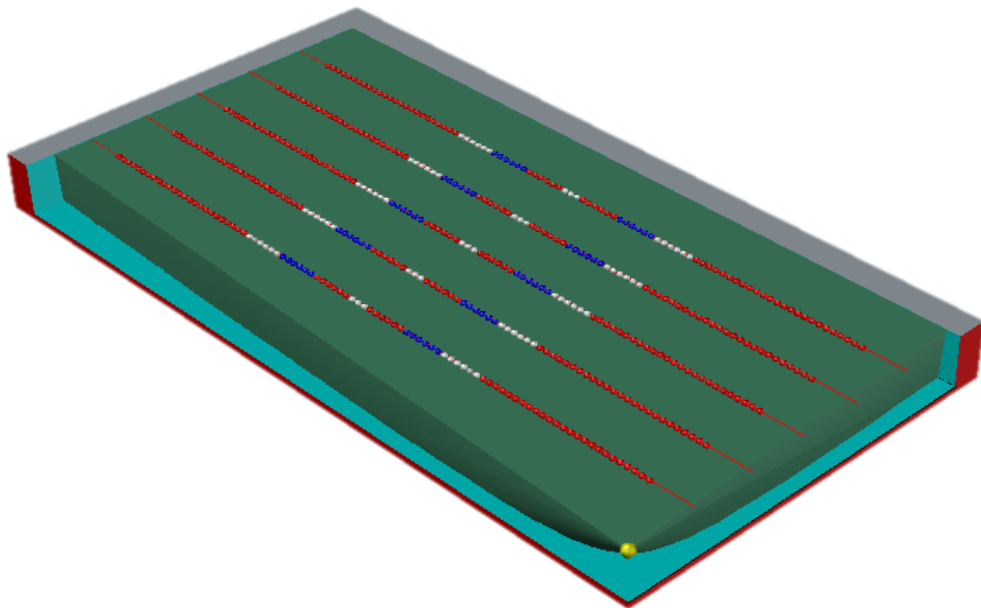


Figura 48-2: Área de radiación con el dispositivo en un costado de la piscina.

La parte verde pertenece a la radiación que tiene el dispositivo y la parte cian es el área que no tiene radiación, es la parte que no es cubierta por el sonar. La radiación del dispositivo logra cubrir el 94 %, si bien existe un 6% en el cual no se puede detectar objetos, el dispositivo alcanza a cubrir casi en su totalidad la piscina.

Tabla 46-2: Porcentaje de la piscina cubierta con un dispositivo.

	Volumen (m^3)	Porcentaje
Piscina	531.25	100 %
Verde	499.2131	93.97 %
No cubierta	32.0369	6.03 %

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

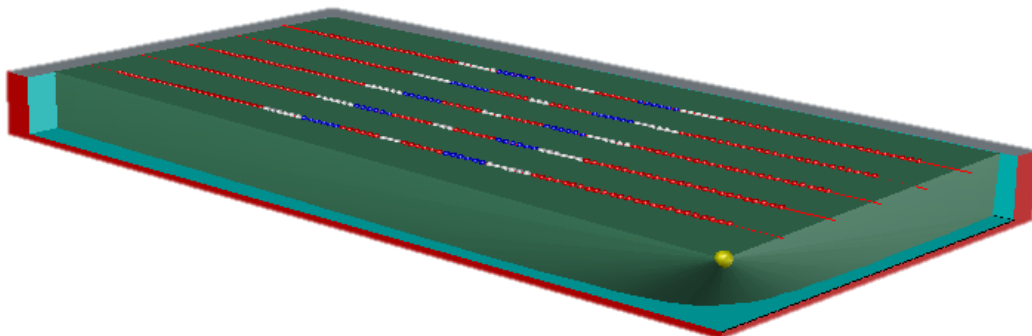


Figura 49-2: Área de radiación del dispositivo plano isométrico.

c) Área cubierta por la radiación utilizando dos dispositivos.

Para este escenario se ubica dos dispositivos en un costado de la piscina, la parte magenta pertenece a la radiación que tiene el primer dispositivo, la parte verde pertenece a la radiación que ofrece el segundo dispositivo y la parte cian es el área que no tiene ninguna radiación, es el área que ninguno de los dispositivos puede cubrir.

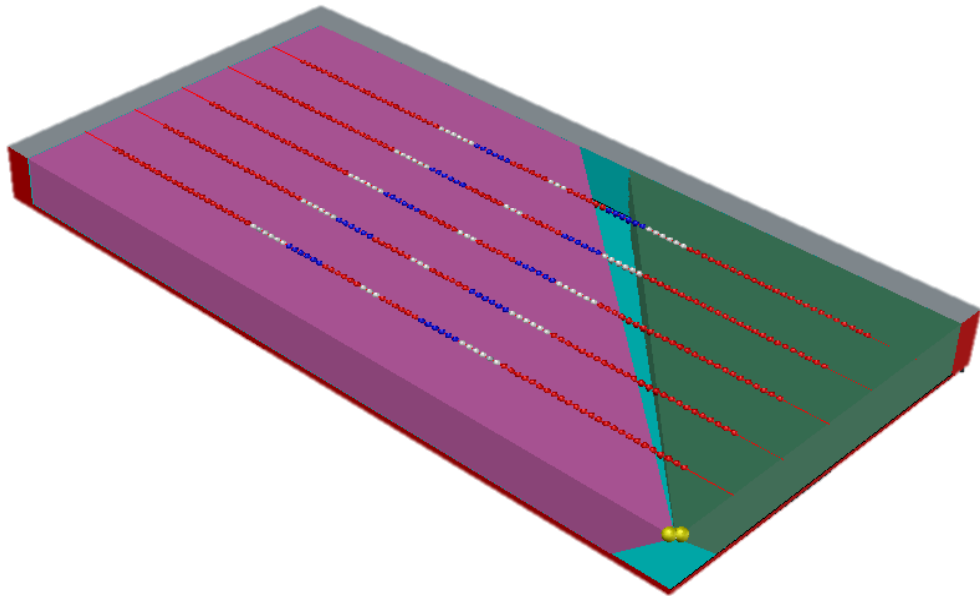


Figura 50-2: Área de radiación con dos dispositivos en un costado de la piscina.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

En la siguiente imagen se puede apreciar cual es el área que cubre cada uno de los dispositivos, utilizando los comandos que ofrece el programa calculamos el volumen total de la piscina que es de 531.25 metros cúbicos y representa el 100%, la radiación de color magenta cubre un área de 384.5503 metros cúbicos y la radiación de color verde cubre un área de 119.8046 metros cúbicos y el área que no es cubierta por ninguna de las radiaciones es de color cian.

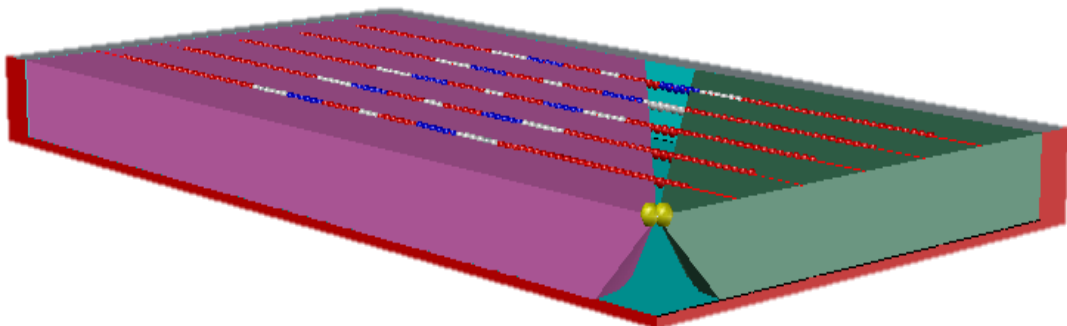


Figura 51-2: Área de radiación que cubre cada uno de los dispositivos.

Fuente: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 47-2: Porcentaje de la piscina cubierto con dos dispositivos.

	Volumen (m^3)	Porcentaje
Piscina	531.25	100 %
Magenta	384.5503	72.39 %
Verde	119.8046	22.55 %
No cubierta	26.8951	5.06 %

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

La radiación producida por el dispositivo en cada uno de los diferentes modelos planteados depende de la ubicación que se da al dispositivo en el escenario. Al ubicar iBobber en el centro de la piscina se puede cubrir un 85% de la totalidad de la piscina. Si ubicamos en un costado podemos cubrir un 93 %. Y al ubicar dos dispositivos en el costado de la piscina podemos cubrir un 95 % del total de la piscina , pero se debe ubicar el primer dispositivo con un ángulo entre 43° - 45° y el segundo dispositivo debe tener un ángulo menor a 43° para que no exista interferencia

CAPÍTULO III

A continuación se presenta los datos obtenidos en los distintos escenarios al momento de ubicar los objetos en los diferentes ambientes acuáticos.

3 ANÁLISIS Y RESULTADOS

A partir de los datos temperatura y profundidad, tomados en los diferentes escenarios se puede analizar cual es el alcance que tiene el dispositivo con los instrumentos de medición. Lo cual permitirá analizar cuál de los tres escenarios presenta las mejores condiciones para un estudio de posicionamiento bajo el agua.

Mediante los datos obtenidos con el termómetro digital, el conductímetro y el flexómetro podemos hacer una comparación con los datos que muestra el dispositivo.

3.1 Resultados alcanzados en los diferentes escenarios

Tabla 1-3: Comparación de datos reales vs datos medidos en el escenario A.

	Escenario A		
	Instrumentos	iBobber	Error
Temperatura	12,9	17	4,1
Salinidad	2	2	0
Profundidad	0,515	0.53	0.015

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

El escenario A tenemos una temperatura y una profundidad que son tomadas por los instrumentos de medición de 12.9 °C, 0.515 m y por el dispositivo 17 °C, 0.53 m respectivamente, lo que da una diferencia de 4.1 °C en la temperatura, y alcanza una diferencia de 0.015 metros (15 cm) de profundidad.

Tabla 2-3: Comparación de datos reales vs datos medidos en el escenario B.

	Escenario B		
	Instrumentos	iBobber	Error
Temperatura	25,5	27	1,5
Salinidad	9	9	0
Profundidad	1,72	1,71	0,01

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

El escenario B, el dispositivo mide una temperatura de 27 °C y una profundidad de 1.71 m y los instrumentos de medición una temperatura de 25.5 °C y una profundidad de 1.72 m. La temperatura tomada por el instrumento de medición y el dispositivo tienen una diferencia de 1.5 °C, y la profundidad alcanza una diferencia de 0.01 metros. A diferencia del escenario anterior debido a la profundidad que tiene el escenario B, el dispositivo es más preciso en el cálculo de la distancia existente entre iBobber y el fondo del escenario.

Tabla 3-3: Comparación de datos reales vs datos medidos en el escenario C – Punto A.

Escenario C - Punto A		
Instrumentos	iBobber	Error

Temperatura	21,1	23	1,9
Salinidad	5	5	0
Profundidad	0,81	0,87	0,06

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 4-3: Comparación de datos reales vs datos medidos en el escenario C – Punto B.

	Escenario C - Punto B		
	Instrumentos	iBobber	Error
Temperatura	21,1	23	1,9
Salinidad	5	5	0
Profundidad	1,15	1,14	0,01

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Tabla 5-3: Comparación de datos reales vs datos medidos en el escenario C – Punto C.

	Escenario C - Punto C		
	Instrumentos	iBobber	Error
Temperatura	21,1	23	1,9
Salinidad	5	5	0
Profundidad	1,32	1,3	0,02

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

En este escenario se puede observar, que al tomar las medidas en diferentes puntos la fiabilidad del dispositivo cambia ya que a menor distancia iBobber tiene complicaciones al determinar la profundidad, algo que no sucede cuando se supera el metro de distancia entre el fondo del escenario y el dispositivo. La temperatura tiene una diferencia de 1.9 °C y la profundidad tiene una diferencia en el punto A es de 0.06 metros, en el punto B es de 0.01 metros y el punto C es de 0.02 metros entre el dispositivo y los instrumentos de medición.

3.2 Resultados alcanzados en los diferentes escenarios al insertar un objeto

Tabla 6-3: Comparación de datos reales vs datos medidos al insertar un objeto en el escenario A.

	Escenario A – Objeto		
	Instrumentos	iBobber	Error
Temperatura (°C)	12,9	17	4,1
Salinidad	2	2	0
Profundidad (m)	0,21	0,408	0,198

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Al inserta un objeto en el escenario A, el dispositivo calcula una distancia de 0.408 metros y al medir con el flexometro se tiene una profundidad de 0.21 metros, la diferencia que existe entre el instrumento de medicion y iBobber es de 0.198 metros y de la temperatura es de 4.1 °C.

Tabla 7-3: Comparación de datos reales vs datos medidos al insertar un objeto en el escenario B.

	Escenario B – Objeto		
	Instrumentos	iBobber	Diferencia
Temperatura (°C)	25,5	27	1,5
Salinidad	9	9	0
Profundidad (m)	0,49	0,627	0,137

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

El dispositivo en este escenario al calcular la distancia del objeto alcanza una profundidad de 0.627 metros y al medir con el flexómetro alcanza una profundidad de 0.49 metros la diferencia entre ambos es de 0.137 metros.

Tabla 8-3: Comparación de datos reales vs datos medidos al insertar un objeto en el escenario C.

	Escenario C – Objeto		
	Instrumentos	iBobber	Diferencia
Temperatura (°C)	21,1	23	1,9
Salinidad	5	5	0
Profundidad (m)	0,5	0,64	0,14

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Al inserta un objeto en el escenario C, el dispositivo calcula una distancia de 0.64 metros y al medir con el flexometro se tiene una profundidad de 0.5 metros, la diferencia que existe entre el instrumento de medicion y iBobber es de 0.14 metros y de la temperatura es de 1.9 °C.

3.3 Resultados obtenidos al insertar un objeto a 0.49 metros y 0.75 metros.

Al inserta un objeto a la misma distancia en los tres escenarios se puede observar como los datos obtenidos son afectados por la salinidad y la temperatura. En cada escenario se tomo 10 muestras y se obtuvo una media de 0.665 metros en el escenario A, 0.626 en el escenario B y 0.65 metros en el escenario C.

Tabla 9-3: Diferencia existente al insertar un objeto a

0.49 m de distancia en los tres escenarios

	Escenarios			
	Real	A	B	C
Distancia	0,49	0,665	0,626	0,65
Temperatura		19	26	22
Salinidad		2	9	5

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

El escenario B tiene una diferencia de 0.13 metros y es la medida mas cercana a la tomada por el flexómetro.

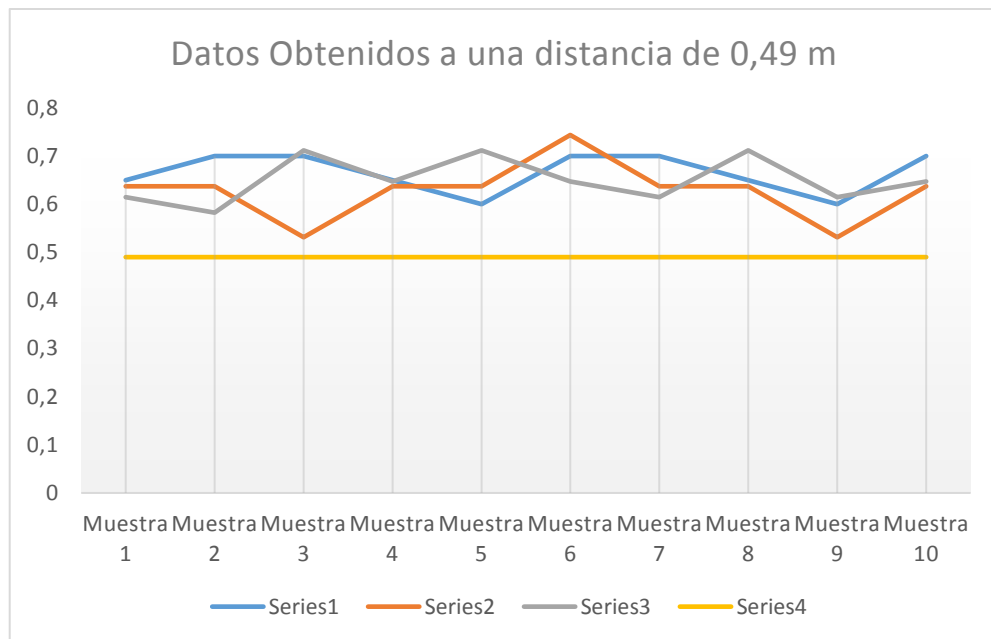


Gráfico 1-3: Datos Obtenidos en los 3 escenarios ubicando el objeto a 0.49 m.

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Para poder observar si la salinidad y la temperatura influyen en el posicionamiento de objetos se calcula la velocidad mediante la fórmula de Medwin, utilizando las distancias obtenidas con el dispositivo y la medida real con los factores de salinidad y de temperatura de los tres escenarios. Y se puede observar como en el escenario B (piscina de la ESPOCH) la velocidad es más rápida que en los otros escenarios.

Tabla 10-3: Cálculo de la velocidad del sonido mediante la formula de Medwin con el objeto a 0.49 m.

		Real	A	B	C		
Velocidad Calculada	mts/ seg	1520,44217	1520,42362	1520,42775	1520,42521	T: 19°	1520,42969
Distancia medida	Mts	0,49	0,665	0,626	0,65	S: 2 ppm	
Tiempo de Vuelo	Seg	0,00064455	0,00087476	0,00082345	0,00085502		

Velocidad Calculada	mts/ seg	1582,9451	1582,92655	1582,93068	1582,92814	T: 26	1582,93262
Distancia medida	Mts	0,49	0,665	0,626	0,65	S: 9 ppm	
Tiempo de Vuelo	Seg	0,0006191	0,00084022	0,00079094	0,00082126		

Velocidad Calculada	mts/ seg	1546,45598	1546,43743	1546,44167	1546,43902	T: 22°	1546,44353
Distancia medida	Mts	0,49	0,665	0,625	0,65	S: 5 ppm	
Tiempo de Vuelo	Seg	0,00063371	0,00086004	0,00080831	0,00084064		

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

De la misma manera se realizo pruebas a una distancia de 0.75 metros en los tres escenarios y se puede observar como los datos obtenidos son afectados por la salinidad y la temperatura. En cada escenario se tomo 10 muestras y se obtuvo una media de 0.835 metros en el escenario A, 0.813 en el escenario B y 0.83 metros en el escenario C. Al igual que las pruebas anteriores el escenario B es el que menos error introduce, la diferencia entre la medida real y la media del escenario B es de 0.063 metros.

Tabla 11-3: Diferencia existente al insertar un objeto a 0.75 m de distancia en los tres escenarios

	Real	Escenarios		
		A	B	C
Distancia	0,75	0,835	0,813	0,83
Temperatura		19	26	22
Salinidad		2	9	5

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

Al igual que la medicion del escenario anterio la medida del escenario B tiene una diferencia de 0.06 metros y es la medida que menos error tiene en comparación con el flexómetro.

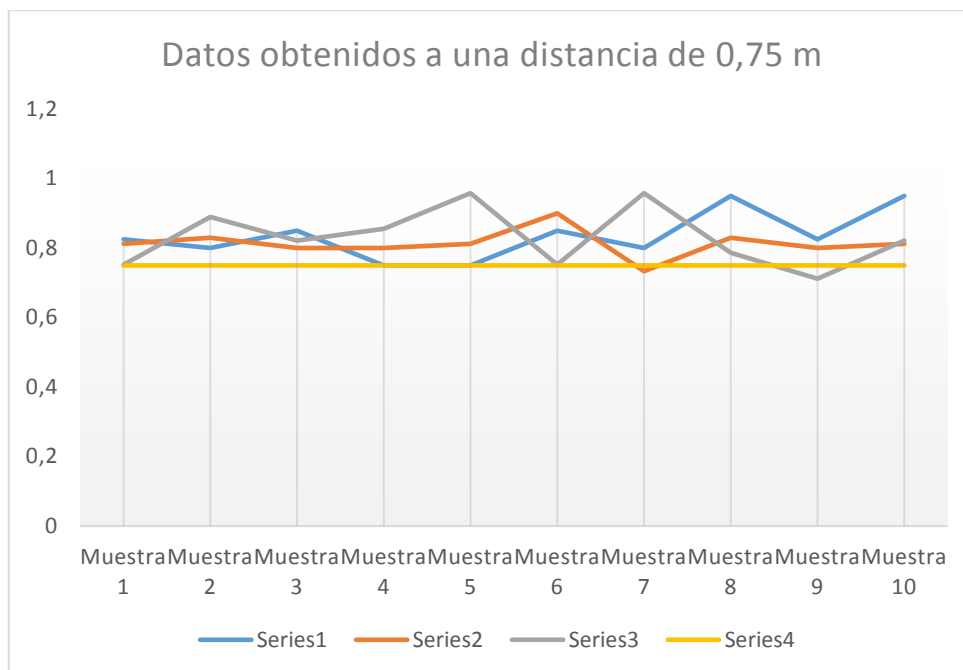


Gráfico 2-1: Datos Obtenidos en los 3 escenarios ubicando el objeto a 0.75 m.

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

De la misma forma, para observar si la salinidad y la temperatura influyen en el posicionamiento de objetos se calcula la velocidad del sonido en los datos obtenidos al ubicar el objeto a 0.75 m mediante la fórmula de Medwin, utilizando las distancias obtenidas con el dispositivo y la medida real con los factores de salinidad y de temperatura de los tres escenarios. Y se puede observar como en el escenario B (piscina de la ESPOCH) la velocidad es más rápida que en los otros escenarios.

Tabla 12-3: Cálculo de la velocidad del sonido mediante la fórmula de Medwin con el objeto a 0.75 m.

		Real	A	B	C		
Velocidad Calculada	mts/ seg	1520,41461	1520,4056	1520,40793	1520,40613	T: 19°	1520,40857
Distancia medida	Mts	0,75	0,835	0,813	0,83	S: 2 ppm	
Tiempo de Vuelo	Seg	0,00098657	0,00109839	0,00106945	0,00109181		
Velocidad Calculada	mts/ seg	1582,91754	1582,90853	1582,91086	1582,90906	T: 26	1582,9115
Distancia medida	Mts	0,75	0,835	0,813	0,83	S: 9 ppm	
Tiempo de Vuelo	Seg	0,00094762	0,00105502	0,00102722	0,0010487		
Velocidad Calculada	mts/ seg	1546,42842	1546,41941	1546,42174	1546,41994	T: 22°	1546,42238
Distancia medida	Mts	0,75	0,835	0,813	0,83	S: 5 ppm	
Tiempo de Vuelo	Seg	0,00096998	0,00107991	0,00105146	0,00107345		

Realizado por: PAUCAR, Rubén, 2018.

CONCLUSIONES

- Se puede hacer uso de la tecnología SONAR para posicionar objetos, en diferentes ambientes, pero, esta tecnología presenta ciertas desventajas y limitaciones, ya que el alcance de la profundidad de un SONAR depende de la frecuencia y el ancho del haz que tenga el transductor del dispositivo.
- En este trabajo se ha realizado una búsqueda bibliográfica de técnicas de localización y posicionamiento para conseguir una base de conocimientos apropiada y aportar así una solución factible al posicionamiento de objetos. Esta búsqueda bibliográfica ha dado lugar a una primera introducción al estado del arte en localización subacuática.
- En base a los parámetros de salinidad y de temperatura se pudo comprobar que estos factores pueden variar la distancia a la que se encuentra el objeto. Mientras mas sal y mayor temperatura tenga un escenario los datos que se puede obtener con el dispositivo son mas precisos.
- Para el parámetro de la profundidad que iBobber permite medir, la diferencia que tiene el dispositivo depende de la profundidad de los escenarios. El error de la distancia que se tiene al medir con el dispositivo es de 0.01 metros hasta los 0.2 metros en el peor de los casos Para los datos de la profundidad se recogió 10 muestras por el dispositivo en distintas horas y utilizamos la media para verificar la diferencia de los datos medidos con el flexómetro y con el dispositivo.
- El modelo de diseño que mejor se adapta a la piscina y que cubre la mayor área con las características de radiación que tiene iBobber, es cuando, se ubica el dispositivo a un costado de la piscina, lo que permite cubrir el escenario en un 94 %, y si ubicamos al iBobber en el centro de la piscina solo cubrir un 85 %. Se puede ubicar dos dispositivos en el costado de la piscina para tener un 100 % del área.

RECOMENDACIONES

- En el trabajo de titulación se mencionaron tres diferentes escenarios en donde se realizan las pruebas y los escenarios tienen una profundidad que varía entre los 0.50 metros y los 2 metros. Para tener datos más precisos es recomendable utilizar en escenarios que superen el metro y la distancia calculada tiene una diferencia de 0.01 metros con la real.
- Respecto al dispositivo iBobber se recomienda cargarlo una vez al mes si no se tiene un uso continuo, y la distancia máxima a la que puede estar el dispositivo con un celular es de 10 metros es recomendable no exceder este límite ya que la conexión entre estos dos llega a ser intermitente y los datos que se reciben son incorrectos. El alcance del dispositivo depende de la frecuencia del transductor, iBobber alcanza una profundidad de 40 metros de profundidad y el dispositivo localiza objetos desde los 15 centímetros.
- Si se desea ubicar dos o más dispositivos en un mismo escenario debemos considerar la radiación que alcanza cada uno de ellos, para evitar interferencias y tener una mejor ubicación de los objetos que se encuentran bajo el mismo.
- Si se desea utilizar el diseño planteado para la piscina de la ESPOCH, es recomendable utilizar dos dispositivos en el costado de la piscina ya que cubre su totalidad, pero estos deben estar cada uno en un costado diferente y deben funcionar en tiempos diferentes. Permitiendo localizar los objetos que se encuentran dentro de ella.
- Como continuación de este trabajo de tesis, existen diversas líneas de investigación que quedan abiertas y en las que es posible continuar trabajando. Además para un futuro trabajo se recomienda utilizar un mejor dispositivo que tenga mejores características para poder alcanzar una mayor distancia en la localización de objetos.

BIBLIOGRAFIA

Barrosos, A. y Estrada, K., *Sistema de Posicionamiento y Mapeo*. [en línea]. Maracaibo-Venezuela: Universidad de Zulia, 2015. P.10. [Consultado: 15 enero 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/282179365/Acustica-Marina-pdf#>.

Bradley, D.L. y Stern, R., *Underwater sound and the marine mammal acoustic environment: A guide to fundamental principles*. [en línea]. Meryland - Estados Unidos, 2008. p. 79. [Consulta: 4 abril 2018]. ISSN 00014966. DOI 10.1038/2131181c0. Disponible en: https://www.mmc.gov/wp-content/uploads/sound_bklet.pdf.

Brazales, K., *Desarrollo de un prototipo para sistema de localización de objetos en dos dimensiones a través de ultrasonidos*. [en línea]. Quito-Ecuador: Universidad de las Américas, 2016. p. 7. [Consultado: 9 mayo 2018]. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/5224/1/UDLA-EC-TISA-2016-04.pdf>.

Burczynski, J., *Introduccion al uso de sistemas sonar para la estimacion de la biomasa de peces*. [en línea]. Roma-Italia: Fao. 1982, p. 74. [Consultado: 22 de enero 2018]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=mWBOSMVJ1DMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Cabrera, J., *Acustica y Fundamentos del sonido*. [en línea]. Bogota-Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2010. pp. 44-46. [Consulta: 13 abril 2018]. Disponible en: https://www.arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_377.pdf.

Candia, S., *Reflexión del sonido*. [en línea]. 2009. [Consulta: 19 abril 2018]. Disponible en: <http://fisica1m.blogspot.com/2009/05/reflexion-del-sonido.html>.

Cando, V. y Utreras, E., *Estudio, Planificación y Diseño de Sonorización del Instituto Geográfico Militar*. [en línea]. Quito-Ecuador: Escuela Politecnica Nacional. 2007. pp. 47-48. [Consulta: 17 abril 2018]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/206/1/CD-0614.pdf>.

Cannon, S. y Smith, J., *Autonomous Underwater Vehicle Navigation*. [en línea]. 1995. S.l.: s.n. [Consulta: 7 agosto 2018]. 1995. Disponible en: <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=2443>.

Comunidad Submarinista Latinoamericana, BAE Systems-Nuevo sistema de navegación para submarinos. [en línea]. 2016. [Consulta: 8 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.elsnorkel.com/2016/06/bae-systems-nuevo-sistema-de-navegacion-submarinos.html>.

Cujilema, G., *Plataforma de evaluación de mecanismos de localización de nodos, en redes de sensores inalámbricos bajo el agua – UWSN*. [en línea]. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. 2018. pp. 20-21. [Consultado: 06 agosto 2018].

Discovery Of Sound In The Sea, *Características de la propagación del sonido en el agua de mar*. [en línea]. 2017. [Consulta: 27 marzo 2018]. Disponible en: <https://dosits.org/science/sound/what-is-sound/>.

ECURED, *Reflexión del sonido*. [en línea]. 2018. [Consulta: 19 abril 2018]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Reflexión_del_sonido.

El Universo, *¿Están los submarinos ecuatorianos preparados para una emergencia?* [en línea]. 2017. [Consultado: 13 julio 2017]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/11/21/nota/6491803/submarinos-ecuatorianos-como-actuan-ante-emergencia>.

Gutiérrez, F., *Sistema de Posicionamiento Global*. [en línea]. Maracaibo-Venezuela: Universidad de Zulia. 2013. p. 15. [Consultado: 12 febrero 2018]. Disponible en: http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/Sistemas_de_posicionamiento_global.pdf.

Hernández, J., *Propagación de Onda Acústica en el Océano Estratificado*. [en línea]. Ciudad de México-México: Instituto Politécnico Nacional. 2011. pp. 3, 9, 13-15. [Consultado: 19 febrero 2018]. Disponible en: <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/13126>.

Ibañez Fernández, I., *Evolución de la Navegación Astronómica en el siglo XIX*. [en línea]. Donostia-San Sebastián: s.n., 2011, p. 210. [Consultado: 13 julio 2018]. Disponible en: <http://www.euskomedia.org/PDFAnlt/lankidetzan/57/57209242.pdf>.

Kudenko, A., *Nuevo sistema de posicionamiento funcionará bajo el agua - Russia Beyond ES*. [en línea]. 2018. [Consulta: 7 agosto 2018]. Disponible en: https://es.rbth.com/tecnologias/defensa/2016/12/13/nuevo-sistema-de-posicionamiento-funcionara-bajo-el-agua_656019.

La Mar En Calma, *Técnicas De Navegación Marítima*. [en línea]. 2012. [Consulta: 13 julio 2018]. Disponible en: http://wiki.lamarencalma.com/index.php?title=TÉCNICAS_DE_NAVIGACIÓN_MARÍTIMA.

Milne, PH., *Underwater Acoustic Positioning Systems*. [en línea]. Washington-USA: S.I., 1982. pp. 1-33. [Consultado: 9 mayo 2018]. Disponible en: http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=6035874.

Moreno, D., *Redes de sensores adaptativas para localización y seguimiento de objetivos móviles*. [en línea]. Madrid-España: Universidad Nacional de Educación a Distancia. 2013. p. 4. [Consulta: 9 mayo 2018]. Disponible en: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:IngInf-Dmoreno/Documento_2.pdf.

Moreno, H.A., Saltarén, R., Puglisi, L., Carrera, I., Cárdenas, P. Y César, Á., *Robótica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control*. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial* [en línea], 2014. [Consulta: 7 agosto 2018]. DOI 10.1016/j.riai.2013.11.001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.riai.2013.11.001>.

PCPAUDIO, *Ondas sonoras - PCPfiles en www.pcpaudio.com*. [en línea]. 2018. [Consulta: 3 mayo 2018]. Disponible en: https://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/ondas_sonoras/ondas_sonoras.html.

Quino, J., *Propagación de Onda Acústica en Océanos*. [en línea]. Ciudad de Mexico-Mexico: Instituto Politécnico Nacional. 2009. [Consulta: 3 abril 2018]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6797/PROPAGAONDA.pdf?sequence=1>.

Roa, J., *Acústica Subacuática*. [en línea]. 2008. [Consulta: 17 abril 2018]. Disponible en: http://www.mnve.mil.ve/web/index.php?option=com_content&task=view&id=63&Itemid=1.

ROM, S., *Diferencias entre reflexión, refracción, dispersión, difracción y absorción de la luz*. [en línea]. 2014. [Consulta: 19 abril 2018]. Disponible en: <http://forofotografiasalva.blogspot.com/2014/11/diferencias-entre-reflexion-refraccion.html>.

Santos, F., *Breve historia del SONAR*. [en línea]. 2018. [Consulta: 12 julio 2018]. Disponible en: <http://www.u-historia.com/uhistoria/tecnico/articulos/sonar/sonar.htm>.

Sainz, I., *Metodología para el desarrollo de nuevas técnicas y algoritmos en el reconocimiento inteligente de imágenes submarinas*. [en línea]. Cantabria-España: Universidad de Cantabria. 2013. pp. 13-14 [Consulta: 25 abril 2018]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3315/Tesis%20IZSM.pdf?sequence=7>.

University Of Rhode Island, *Discovery of Sound in the Sea- Sound Absorption*. [en línea], 2013. [Consulta: 3 mayo 2018]. Disponible en: <https://dosits.org/science/sound/what-is-sound/>.

Vegas, O., *Estudio, funcionamiento y aplicación de los sistemas de posicionamiento dinámico*. [en línea]. Barcelona-España: Universidad de Cataluña. 2016. pp.28-31. [Consulta: 9 mayo 2018]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/98772/123081_Estudio,%20funcionamiento%20y%20aplicaci%C3%B3n%20de%20los%20sistemas%20de%20posicionamiento%20din%C

3%Almico.pdf.

Veloso, M., *Simulación de propagación de ondas sonoras con aplicaciones en Acústica Subacuática*. [en línea]. Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile. 2007. pp. 7-8 [Consulta: 4 abril 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Mario_Veloso2/publication/267402400_Simulacion_de_propagacion_de_ondas_sonoras_con_aplicaciones_en_Acustica_Subacuatica/links/5758756508ae414b8e3f5c39/Simulacion-de-propagacion-de-ondas-sonoras-con-aplicaciones-en-Acus.

Von Martini, A., Bragachini, A. y Bianchini, M., *Sistemas de Posicionamiento Principios de Funcionamiento del GPS*. [en línea]. . 1999. p. 1. [Consulta: 4 abril 2018]. Disponible en: <http://www.agriculturadeprecision.org/descargaItem.asp?item=%2Farticulos%2Fsistema%2Dgps%2FSistemas%2DPosicionamiento%2E.pdf>

Winterberg, J., *Ondas Sonoras y la Comunicación*. S.l.: Teacher Created Materials. 2017. ISBN 9781425854362. pp. 6-7. Disponible en: [Consultado: 26 febrero 2018]. <https://books.google.com.ec/books?id=OVAuDgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Winterberg,+J.,+Ondas+Sonoras+y+la+Comunicaci%C3%B3n.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjwh7af-MbcAhXS2qQKHfusCdoQ6AEIMDAB#v=onepage&q&f=false>

ANEXOS

Anexo A. Transformación de micro Siemens/ centímetros a partes por mil (uS/cm a ppm).



Muestras	Agua Piscina	Unidades			
1	1417	uS/cm			
2	1418	uS/cm			
3	1414	uS/cm			
Media	1416,333333	uS/cm	906,453333	ppm	9%
	1000	ppm	640	uS/cm	

Muestras	Agua Laguna	Unidades			
1	735	uS/cm			
2	735	uS/cm			
3	737	uS/cm			
Media	735,666667	uS/cm	470,826667	ppm	5%
	1000	ppm	640	uS/cm	

Muestras	Agua Potable	Unidades			
1	305	uS/cm			
2	306	uS/cm			
3	305	uS/cm			
Media	305,333333	uS/cm	195,413333	Ppm	2%
	1000	ppm	640	uS/cm	


Anexo B. Características de iBobber.

- Tecnología patentada de sonar identificador de peces
- Luz guía LED
- Batería recargable y luz indicadora de nivel de carga
- Duración de batería de más de 10 horas
- Lecturas de sonar precisas en profundidades desde 4' hasta 135'
- 2 conexiones de emerillón para usar como flotador o como buscador de peces remoto
- Sincronización mediante Bluetooth Smart hasta una distancia de 100' para la mejor duración de batería en el mercado
- Elige entre vistas de sonar o etiquetado de peces
- Íconos de peces etiquetados por profundidad y clasificados por tamaño con colores
- Mapeo de suelo subacuático con perfiles estructurales
- Etiquetado de ubicaciones por GPS con mapa interactivo
- Registro de paseos con fecha, hora, ubicación, temperatura de agua, condiciones, tipo de peces, carnada, número de especies y peces capturados
- Calendario lunar y clima (temperatura, lluvia, viento, barómetro)
- Alarmas de peces y contacto
- Optional social media share features
- Compatible con Google Watch y iWatch
- Un año de Garantía limitada



Anexo C. Características del instrumento de medición de temperatura

Operating Instruction



Features

- LCD display
- Insert design
- Simple appearance
- Two button batteries for longer use time
- Especially applied in refrigerator, chiller, deepfreeze etc.

Technical parameter

- Temperature range: $-50^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$
- Using environment: Temperature: $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$
Humidity: 5% ~ 80%
- Accuracy: $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- Distinguish: 0.1°C
- Power: two button battery (LR 44, 1.5v)

Instruction

- Open the battery cover to put in two LR44 batteries correctly, be assure not turn over.
- Display once put in the batteries. Pls take out the batteries when not use for long time (Notes: First use pls take out the dielectric)
- LCD display H°C when temperature is higher than 70°C ;
LCD display L°C when temperature is lower than -50°C .
- Insert size: 46 x 26.6mm

Anexo D. Calculo de la media desviación estándar y del coeficiente de variación en los diferentes escenarios.

Escenario A		Escenario B	
Real(0,512)	Distancia (m)	Real (1,72)	Distancia (m)
Muestra 1	0,5	Muestra 1	1,7
Muestra 2	0,5	Muestra 2	1,7
Muestra 3	0,5	Muestra 3	1,8
Muestra 4	0,5	Muestra 4	1,7
Muestra 5	0,6	Muestra 5	1,7
Muestra 6	0,6	Muestra 6	1,6
Muestra 7	0,5	Muestra 7	1,7
Muestra 8	0,6	Muestra 8	1,7
Muestra 9	0,5	Muestra 9	1,8
Muestra 10	0,5	Muestra 10	1,7
Media	0,53	Media	1,71
Desviación estándar	0,048304589	Desviación estándar	0,056764621
Coeficiente de variación	9%	Coeficiente de variación	3%

Escenario C					
Punto A		Punto B		Punto C	
Real (0,81)	Distancia (m)	Real (1,15)	Distancia (m)	Real (1,32)	Distancia (m)
Muestra 1	0,9	Muestra 1	1,1	Muestra 1	1,3
Muestra 2	0,9	Muestra 2	1,1	Muestra 2	1,2
Muestra 3	0,9	Muestra 3	1,2	Muestra 3	1,2
Muestra 4	0,8	Muestra 4	1,1	Muestra 4	1,3
Muestra 5	0,9	Muestra 5	1,1	Muestra 5	1,3
Muestra 6	0,9	Muestra 6	1,2	Muestra 6	1,3
Muestra 7	0,9	Muestra 7	1,1	Muestra 7	1,3
Muestra 8	0,8	Muestra 8	1,1	Muestra 8	1,3
Muestra 9	0,8	Muestra 9	1,2	Muestra 9	1,4
Muestra 10	0,9	Muestra 10	1,2	Muestra 10	1,4
Media	0,87	Media	1,14	Media	1,3
Desviación estándar	0,048304589	Desviación estándar	0,051639778	Desviación estándar	0,066666667
Coeficiente de variación	6%	Coeficiente de variación	5%	Coeficiente de variación	5%

Anexo E. Fotografías de los diferentes escenarios.



Medición del objeto en el primer escenario



Piscina de la ESPOCH



Laguna del parque Infantil – Parque Olmedo



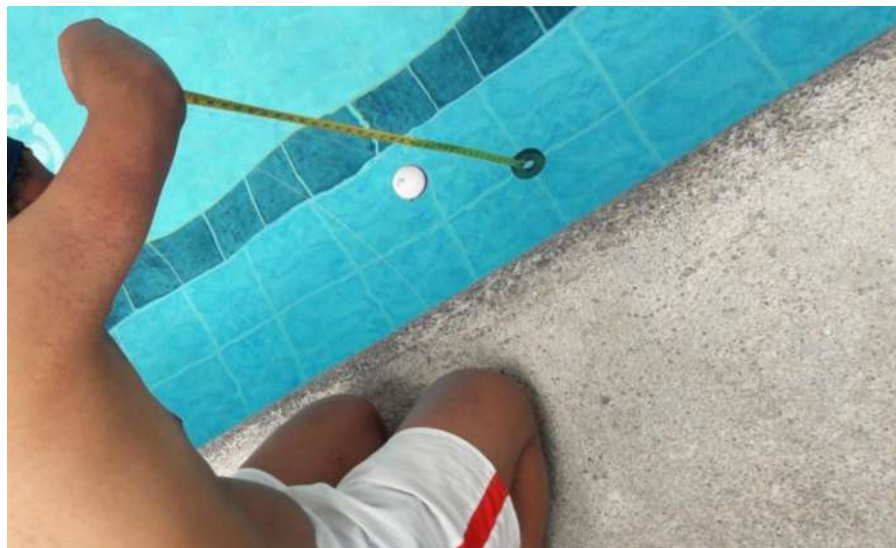
Medición con el dispositivo



Medición de la temperatura de la laguna



Dispositivo en la piscina de la ESPOCH



Medición de la profundidad del objeto con el dispositivo en la Piscina



Medición de la profundidad del objeto en el escenario A.