



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

“Propuesta de Sonorización para Nado Sincronizado”

TESIS

Que para obtener el título de Ingeniero en Comunicaciones y
Electrónica

Presenta:

Paulina Gabriela Ramírez González

Asesores:

Ing. José Javier Muedano Meneses

Ing. Marcial Margarito Sánchez Sánchez

Dra. Itzalá Rabadán Málida

México D.F. 2014



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA(N) DESARROLLAR C. PAULINA GABRIELA RAMÍREZ GONZÁLEZ


"PROPUESTA DE SONORIZACIÓN PARA NADO SINCRONIZADO"

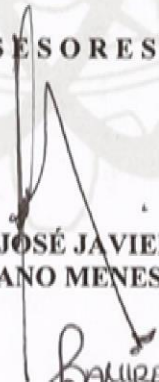
SONORIZAR UNA ALBERCA POR MEDIO DE ALTAVOCES SUBACUÁTICOS, PARA LOGRAR LA
DISTRIBUCIÓN DEL SONIDO DENTRO DEL AGUA PARA FINES DE ACTIVIDADES DE NATACIÓN
SINCRONIZADA.

- ❖ DESARROLLO HISTORICO DE LA ACÚSTICA SUBACUÁTICA.
- ❖ FUNDAMENTOS TEÓRICOS.
- ❖ PROPUESTA DE SONORIZACIÓN DE UNA ALBERCA PARA NADO SINCRONIZADO.


MÉXICO D. F., A 16 DE MAYO DE 2014.

ASESORES


ING. MARCIAL MARGARITO
SÁNCHEZ SÁNCHEZ


ING. JOSÉ JAVIER
MUEDANO MENESES


DRA. ITZALÁ RABADÁN
MALDA


ING. PATRICIA LORENA RAMÍREZ RÁNGEL
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA





Agradecimientos

A MI MADRE Guadalupe Reyna González, por el apoyo incondicional en todo momento, por que a ella debo mis triunfos y sueños logrados.

A MIS HERMANAS Reyna y Tzitziki, por darme el mejor ejemplo e incentivar me a diario.

A RICARDO, por extender me la mano y caminar a mi lado durante toda mi carrera profesional y apoyarme en todo momento.

A MIS PROFESORES, porque al transmitirme sus conocimientos me dieron uno de los mas grandes regalos para un ser humano: despertar de la ignorancia.

PARA USTEDES MI MAS GRANDE AGRADECIMIENTO

Paulina



TABLA DE CONTENIDOS:

Objetivo	VI
Justificación	VI
Introducción	VII
Capítulo I	8
“Desarrollo histórico de la acústica subacuática”	8
Capítulo II	12
“Fundamentos Teóricos”	12
2.1 Teoría de las vibraciones	13
2.1.1 Oscilación	13
2.1.2 Ondas	15
2.1.3 Clasificación de las vibraciones	16
2.1.3.1 Clasificación de los sonidos	17
2.2 Velocidad del Sonido	19
2.3 Comportamiento de las ondas acústicas en la superficie del agua	20
2.4 Comportamiento de las ondas acústicas bajo el agua	21
2.4.1 Pérdida sonora por transmisión	21
2.4.2 Fenómenos de refracción.	23
2.4.2.1 Ley de Snell para la refracción de ondas	23
2.4.2.2 Canales Sonoros.	26
2.4.3 Fenómenos de reflexión.	26
2.4.3.1 Reflexión Superficial	26
2.5 Enmascaramiento por ruido y reverberación.	27
2.5.1 Reverberación	28
2.6 Transductores Subacuáticos	29
2.7 Sistemas audio distribuidos	30
2.7.1 Componentes principales de un sistema de audio distribuido	30
2.7.2 Funcionamiento de un sistema de voltaje constante	31
2.7.3 Tipos de voltaje constante ^[9]	31
2.7.4 Amplificador de voltaje constante	32
2.7.5 Altavoces con transformador acoplado	32
Capítulo III " Propuesta de sonorización de una alberca para nado sincronizado"	34
Introducción	35
3.1 Metodología del proyecto	35
3.2 Evaluación y características de la alberca	36

3.2.1 Características de la alberca. _____	37
3.2.1.1 Determinación de la salinidad y velocidad del sonido dentro de una alberca con condiciones para nado sincronizado _____	38
3.3 Evaluación y características de los altavoces _____	39
3.3.1 Características de los altavoces. _____	39
3.4 Análisis y propuesta de solución. _____	40
3.4.1. Análisis de pérdidas por transmisión _____	40
3.4.2. Distribución de los altavoces _____	41
3.4 Resultados. _____	44
3.4.1 Cálculo de las distancias y pérdidas por transmisión dentro de la alberca. _____	45
3.4.2 Cálculo del nivel de presión acústica dentro de la alberca. _____	45
3.5 Instalación _____	46
3.5.1 Equipo de instalación _____	46
3.5.2 Equipo de audio _____	46
3.5.1 Análisis de instalación _____	47
3.6 Análisis Económico _____	49
3.6.1 Costos de material y equipo _____	49
3.6.2 Costos de ingeniería y mano de obra _____	50
3.6.3 Costos totales _____	51
Conclusiones _____	52
Anexos _____	53
Apéndices _____	58
Referencias Bibliográficas _____	62

Objetivo

Sonorizar una alberca por medio de altavoces subacuáticos, para lograr la distribución adecuada del sonido dentro del agua para fines de actividades de natación sincronizada.

Justificación

El estudio de la propagación del sonido en el agua a tenido aplicaciones de gran utilidad en el ser humano, principalmente en agua de mar como lo han sido el diseño de sonares y las técnicas de reflexión acústica para detectar profundidades, la acústica subacuática en nuestros días sigue siendo un campo amplio de exploración con grandes incógnitas sobretodo en agua dulce.

En la actualidad las actividades subacuáticas han tenido un agigantado impacto en diversos ámbitos desde el médico-terapéutico hasta el lúdico y deportivo. Un ejemplo de ello es el nado sincronizado, actividad artística y deportiva que se realiza dentro de albercas de dimensiones olímpicas. El deporte consiste en una rutina sincronizada de gimnasia dentro del agua al ritmo de una pista musical. Si bien, en el exterior de la alberca el público espectador puede seguir la rutina a la par de la música para los deportistas representó en algún momento un problema el no poder escucharla dentro del agua (en la que pueden estar hasta 4 minutos) y tener que guiarse únicamente por tiempos de rutina.

Hoy en día, el estudio de la acústica subacuática, aunado al desarrollo tecnológico a logrado la propagación del sonido en agua por medio de altavoces subacuáticos. Las aplicaciones han sido numerosas como la talasoterapia utilizada para rehabilitaciones musculares por medio de música dentro del agua, los spas subacuáticos, las actividades de prácticas de buceo y snorkel con música y hasta el placer de nadar en una alberca particular sonorizada. Sin embargo, la complicación se enfrenta en la implementación de estos.

Para la disciplina y los ejecutantes del nado sincronizado se han adoptado estas técnicas de sonorización siendo de gran apoyo el poder escuchar bajo el agua, sobre todo reflejándose en la calidad y eficiencia de sus rutinas. La problemática se encuentra en la calidad de sonido debido al tipo y distribución del equipo así como a las consideraciones que deben tenerse por el constante movimiento del agua propiciado por los nadadores. Es por esto por lo que al hacer un estudio completo de las condiciones de una alberca olímpica (en la que se lleva a cabo el deporte de nado sincronizado), tendremos la propuesta mas adecuada de equipo y distribución para lograr una sonorización subacuática óptima en la zona de acción de los ejecutantes de este deporte.

Introducción

La propagación de las ondas acústicas es un fenómeno con el que interactuamos día a día, cada momento, sin embargo éste como tal es mucho más complejo de lo que parece ser.

El sonido en el medio común que es el aire es cosa de todos los días, comúnmente no imaginamos un mundo sin poder escuchar o una comunicación sin sonido. Oír forma parte natural de la esencia del ser humano, es por esto que la acústica como ciencia es parte importante de los estudios del hombre y así mismo sus aplicaciones son numerosas en diversos ámbitos.

Si bien, generalmente en personas comunes pocas veces se medita cómo se lleva a cabo el proceso auditivo en el aire, ¿se imaginarán como lo es dentro del agua?, los primeros estudios de la acústica subacuática se remontan a un poco más de 500 años atrás, sin embargo las aplicaciones se han generado a partir de la mitad del siglo pasado, estas son muchas y en diversos aspectos: la oceanografía, la tomografía acústica, la investigación en acústica submarina, instrucción de buceo comercial y militar, exploración de cuevas, biología marítima, musicoterapia, comunicación con delfines y ballenas, crecimiento acelerado de plantas en instalaciones hidropónicas, repeliendo peces y aves de aguas contaminadas, todas estas acciones que han brindado evolución científica a la humanidad; sin embargo en la actualidad aun hay muchas de ellas por desarrollar.

En los siguientes capítulos del presente trabajo se ahondará en el campo de la acústica subacuática, el sonido y su propagación en el agua; así como la aplicación de esta, creando la interacción entre la ciencia y el deporte: la acústica y la natación sincronizada. Se analizará la distribución del sonido bajo el agua tomando en cuenta las consideraciones de una alberca donde se realiza este deporte, como temperatura, PH, profundidad y materiales entre otras, realizando así una propuesta de sonorización para una alberca de nado sincronizado. Logrando con esto un aporte y mejora a esta disciplina olímpica.

Capítulo I

*“Desarrollo histórico de la acústica
subacuática”*

A continuación se describen cronológicamente una serie de investigaciones que forman parte de los antecedentes de la acústica subacuática y la natación sincronizada.

- ❖ 1490 Leonardo da Vinci observa cómo el sonido de los barcos recorre grandes distancias por debajo del agua.
- ❖ 1687 Isaac Newton publica la primera teoría matemática de la propagación del sonido en *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.
- ❖ 1826 J.D. Colladon y J.C.F. Sturm realizan un experimento en el lago de Ginebra. Consistió en usar dos barcos con los científicos a bordo que se ubicaban a una distancia de 13,487 metros, conociendo la distancia entre los barcos y el tiempo que tardaba el sonido para llegar hasta el segundo bote (9.4 segundos) se pudo calcular la velocidad del sonido. El resultado fue 1435 m/s.



Figura 1. Barco con la campana y martillo.



Figura 2. Barco con el tubo para escuchar.

- ❖ 1877 Lord Rayleigh publica "Theory of Sound", obra en la que se establecen las bases teóricas de la acústica moderna.
- ❖ 1912 L.F. Richardson solicita una patente en Gran Bretaña para la localización por eco en el agua.
- ❖ 1914 Reginald A. Fessenden patenta, en los Estados Unidos, un nuevo tipo de transductor para la localización por eco. El primer emisor submarino capaz de trabajar como transmisor y receptor en el margen de frecuencia entre 500 y 1000 Hz. En este mismo año, tras la pérdida del TITANIC demostró la utilidad de su invento midiendo la distancia a un iceberg situado a 2 millas de distancia. La posterior aplicación de los amplificadores electrónicos a las señales captadas hizo que los sistemas no tuvieran que depender exclusivamente de la sensibilidad del oído humano.
- ❖ 1915 Nuevamente Lord Rayleigh, descubre que el oído humano es capaz de determinar la dirección de una fuente sonora por la diferencia de fase o tiempo de la onda sonora al llegar a ambos oídos y se desarrollan sensores binaurales para determinar la dirección de la que proviene el sonido.

- ❖ 1917 El físico francés Paul Langevin usando un sistema piezoeléctrico de cuarzo sintonizado a una frecuencia de 38 KHz., consigue formar un haz de energía capaz de determinar la dirección y la distancia de un objeto sumergido, llegando a detectar un submarino a 1500 m.
- ❖ 1919 El científico alemán H. Lichte desarrolla una teoría según la cual las ondas sonoras cambian de dirección hacia arriba o hacia abajo en el agua cuando se encuentran con pequeñas diferencias de temperatura, salinidad y presión.
- ❖ 1925 La empresa *Submarine Signal Company* presenta comercialmente el primer *sondador*, aparato capaz de determinar la distancia al fondo desde la superficie.
- ❖ 1937 Athelstan Spilhaus construye el batitermógrafo (BT). Instrumento de medición de temperatura en aguas profundas. Está compuesto de una cámara semejante a un fuelle, un cristal ahumado, un pequeño tubo lleno de líquido xileno y un estilete. La cámara registra la presión, el tubo mueve el estilete sobre el cristal ahumado al cambiar la temperatura, y en conjunto el aparato marca la profundidad y el grado térmico de las aguas.
- ❖ 1954 - 1955 Los trabajos de eminentes físicos como Knudsen, Wenz, Marsh, Urlick y otros identifican los orígenes y características de las distintas fuentes de ruido ambiental existente en el océano. Los mayores logros en este período son:
 - El descubrimiento del motivo de la atenuación a frecuencias inferiores a 100 Hz.
 - Determinación experimental de la absorción para frecuencias entre 100 Hz. y 1 MHz.
 - Medida de las pérdidas por absorción por rebote en el fondo.
 - Clasificación de las pérdidas y características del canal sonoro profundo y superficial.
 - Conocimiento de la propagación en aguas polares.
 - Descubrimiento y explicación de las zonas de convergencia.
 - Obtención de diagramas de rayos sonoros y predicción de alcances.
 - Medida con gran exactitud de la velocidad del sonido en el agua.
- ❖ 1968 Alan H. Lubell inventó y patentó el primer altavoz piezoeléctrico subacuático de banda ancha en el mundo.

- ❖ 1970 - actualidad Se desarrolla tecnología en cuanto a transductores subacuáticos.
- ❖ 1983 - 1989 John Spiesberger, actualmente en la Universidad Estatal de Pennsylvania, y Kurt Metzger, de la Universidad de Michigan, proporcionan pruebas experimentales de que cualquier pequeño cambio en el tiempo de recorrido acústico a través de la cuenca oceánica indican cambios en la temperatura media del agua.
- ❖ 1991 En la prueba de viabilidad de la isla de Heard, científicos de nueve países envían sonidos a 18.000 kilómetros por debajo de la superficie del mar a través de todos los océanos excepto el ártico.
- ❖ 1991-a la fecha Se crean diversas empresas fabricantes de altavoces subacuáticos, muchas de ellas asociándose con las federaciones internacionales de natación sincronizada alrededor del mundo como son AQUAMUSIQUE, OCEANERS, CLARK SÍNTESIS , COOMBER , DAL-BAY , MALUX , MULTISOUND , SPECTOR-LUMENEX y UETAX entre otras.
- ❖ 1993 Científicos realizan la primera detección remota de una erupción volcánica submarina.
- ❖ 1996 El experimento de termometría acústica del clima oceánico comienza a transmitir sonidos en el norte del Océano Pacífico.
- ❖ 1998 El programa de observación del clima ártico mediante sonidos submarinos comienza a transmitir sonidos regularmente en el océano ártico.
- ❖ Durante los últimos años se ha intensificado el estudio de bajas frecuencias para detección a grandes distancias y se ha potenciado la reducción al máximo del ruido emitido por los buques.

Capítulo II

“Fundamentos Teóricos”¹

¹ Todas las referencias son dadas en el apartado especial al final de este trabajo

Para comprender este trabajo en su totalidad es necesario dar a conocer los principios básicos de la acústica sobretodo en el campo de la acústica subacuática que conforman los cimientos teóricos del proyecto.

Acústica Es la ciencia que estudia la producción, transmisión, recepción y efectos de energía de las vibraciones mecánicas a través de los medios elásticos (líquidos, solidos y gases) ^[1]

Acústica Subacuática Rama de la acústica encargada de estudiar la producción, transmisión, recepción y propagación de las vibraciones mecánicas dentro del agua.

2.1 Teoría de las vibraciones

2.1.1 Oscilación

El término oscilación o también llamado ciclo, es el fenómeno que produce un cambio periódico de la condición o el comportamiento de un cuerpo ^[3], sus características son:

Período es el tiempo necesario para llevar a cabo una oscilación, por ejemplo el tiempo en que un cuerpo se mueve un ciclo completo relacionado al movimiento de estados idénticos. Este se designa “ T ” y es usualmente expresado en segundos. ^[3]

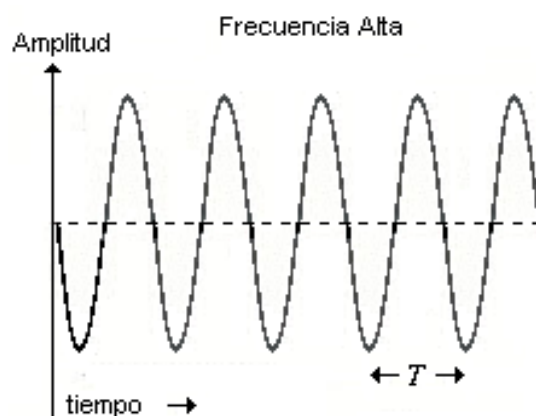


Figura 2.1 Período y frecuencia de una onda

Frecuencia es el inverso del período (T) o el número de oscilaciones (ciclos) por unidad de tiempo. A la frecuencia se le designa con “ f ” dando la relación:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

Amplitud es la máxima desviación del cuerpo oscilante desde la posición de equilibrio (posición cero). Si la amplitud es constante en el tiempo, la oscilación es desamortiguada; si esta decrece con el tiempo, se le llama oscilación amortiguada ^[3].

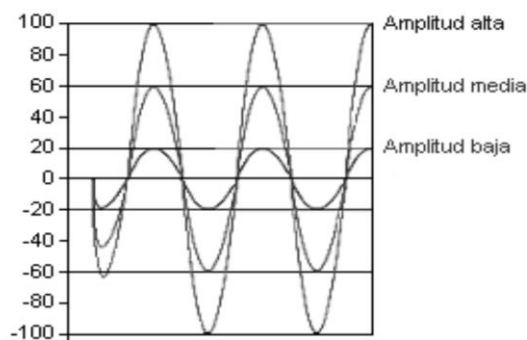


Figura 2.2 Amplitud de varias señales

Fase es la condición instantánea en una oscilación: el concepto se aplica principalmente cuando se comparan dos oscilaciones, de modo que es también llamado diferencias o desplazamiento de fases. ^[3]

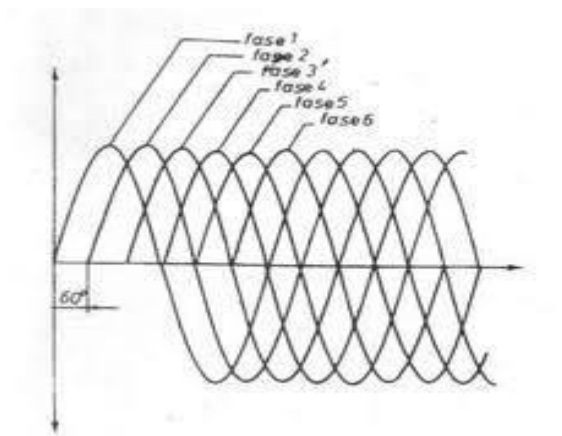


Figura 2.3. Fase de seis señales

2.1.2 Ondas

Onda es la propagación de una oscilación y sucede cuando una partícula oscila transmitiendo su vibración a la adyacente. Las partículas adyacentes tienen una diferencia de fase constante. La representación de una onda es similar a la de una oscilación. ^[33]

Acoplamiento es la unión entre dos partículas adyacentes para la ocurrencia y propagación de ondas. Un acoplamiento total (rígido) o el no acoplamiento total nunca ocurre en la naturaleza, esto varía dentro de límites amplios. El acoplamiento es producido por fuerzas atómicas o moleculares elásticas de enlace, por fricción, por gravitación, etc. ^[3]

La propagación de ondas puede ocurrir en dos direcciones:

- a) En dirección de la oscilación de las partículas
- b) En la dirección perpendicular de oscilación de las mismas

Existen diferentes tipos de ondas:

Onda Longitudinal Aquí, la dirección de oscilación de las partículas coincide con la dirección de propagación de la onda. Como ejemplo, se puede mencionar una onda normal (variación de compresión) en aire, por lo que es también llamada onda de compresión. ^[6] (Ver fig. 2.4)

Onda transversal La dirección de oscilación de la partícula es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Un ejemplo obvio, aun cuando no sea correcto en el sentido físico, es el encontrado en ondas en agua (oscilación vertical, propagación horizontal). ^[4] (Ver fig. 2.4)

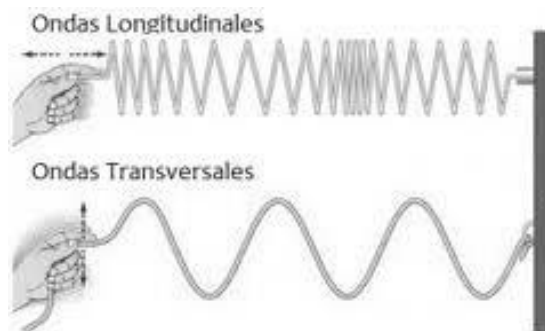


Figura 2.4 Onda longitudinal y onda transversal ²

Las ondas longitudinales o transversales puras, sólo se formarán si el espesor del material con respecto a la dirección de propagación de la onda, es considerablemente mayor que la longitud de onda. ^[4]

² Imagen cortesía de Encarta Enciclopedia

Una nueva combinación de ondas longitudinales y transversales son las **ondas superficiales**, las cuales pueden existir solamente a lo largo de la superficie, siendo capaces de seguir una superficie curvada. En este tipo de ondas, la profundidad de penetración de una onda superficial es aproximadamente igual a la mitad de la longitud de onda. ^[4]

De tal manera que se puede concluir que la velocidad de propagación de las ondas longitudinales, transversales o de superficie, son constantes del material, independientes de la frecuencia y dimensiones del material. ^[4]

Las ondas acústicas que se esparcen uniformemente en todas direcciones son llamadas **ondas esféricas**, y aquellas que se esparcen sólo en una dirección, **ondas planas**. (Ver fig. 2.5) ^[4]

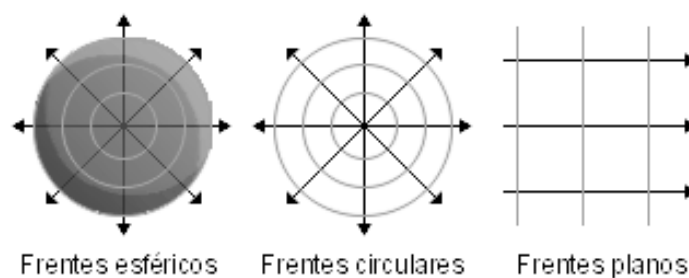


Figura 2.4 Onda longitudinal y onda transversal

2.1.3 Clasificación de las vibraciones

Las vibraciones abarcan toda la gama de frecuencias, se clasifican en tres intervalos conocidos como: infrasonidos, sonidos y ultrasonidos.



Figura 2.6 Fronteras de infrasonido, sonido y ultrasonido

Sonido Sensación auditiva producida por una vibración de carácter mecánico que se propaga a través de un medio elástico y denso ^[2], al elemento generador del sonido se le denomina fuente sonora, la generación del sonido tiene lugar cuando dicha fuente entra en vibración y esta es transmitida a las partículas adyacentes del medio (como aire o agua), mismas que a su vez la transmiten a partículas contiguas. Las partículas no se desplazan con la perturbación sino que simplemente oscilan de su posición de equilibrio; la manera en que la perturbación se traslada de un lugar a otro es la llamada “propagación de la onda sonora”.

El oído humano únicamente puede escuchar sonidos, es decir abarca solamente la gama de frecuencias comprendida entre los 20Hz y los 20 KHz, con una amplitud desde 0 hasta 120 dB siendo este ya un nivel de dolor.

2.1.3.1 Clasificación de los sonidos

Los sonidos se dividen en deterministas y aleatorios. Los primeros se pueden representar siempre mediante una expresión matemática que indica la forma en que varía la correspondiente presión sonora en función del tiempo. Los segundos, en cambio, van asociados a vibraciones irregulares que nunca se repiten exactamente y que, por tanto, solamente se pueden describir mediante parámetros estadísticos.^[2]

A continuación se definen los sonidos más representativos pertenecientes a cada grupo.

❖ Sonidos deterministas

Sonido periódico simple (tono puro)

Es el tipo más simple de sonido existente en la naturaleza. Se compone de una única frecuencia (f_0) constante, por lo que su espectro está constituido por una sola raya (Ver fig. 2.7).

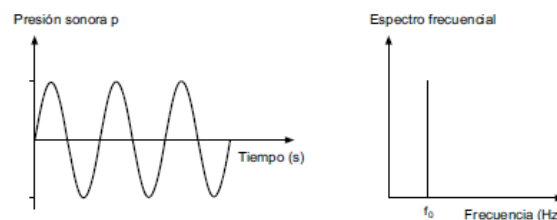
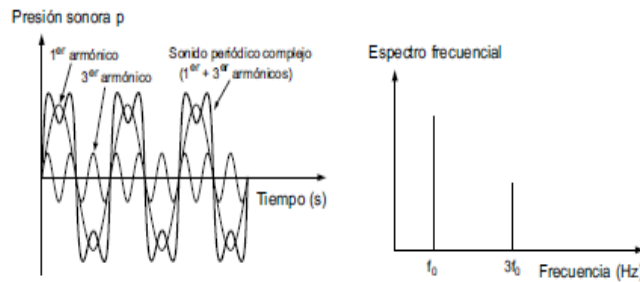


Fig. 2.7 Tono puro y su espectro en frecuencia.

Sonido periódico complejo

Sonido caracterizado por una frecuencia origen, denominada fundamental o primer armónico, y un conjunto finito (y a veces infinito) de frecuencias múltiplos de ésta, denominados armónicos. Por regla general, la frecuencia fundamental es la que lleva asociada más potencia sonora. La mayoría de instrumentos musicales producen este tipo de sonidos. En la figura 1.5 se representa un sonido de este tipo formado por una frecuencia fundamental o primer armónico (f_0) y su tercer armónico ($3f_0$).



Sonido transitorio

Sonido resultante de la brusca liberación de energía bajo la forma, por ejemplo, de explosiones o impactos. Es de aparición repentina y tiene una duración breve. A diferencia de los sonidos periódicos comentados anteriormente, contiene un gran número de componentes frecuenciales que no guardan una relación armónica entre sí, sino que forman un espectro continuo. Una palmada constituye un ejemplo de este tipo de sonidos.

❖ Sonidos Aleatorios

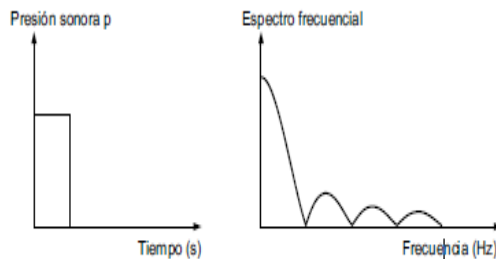


Fig. 2.9 Pulso rectangular y su espectro en frecuencia

Los sonidos aleatorios están formados por muchas frecuencias de valor impredecible. Habitualmente reciben el nombre de ruidos (ruido = sonido no deseado).

En este caso, en lugar de utilizar el espectro en frecuencia, se hace uso de la llamada densidad espectral de potencia, es decir, de la potencia sonora por unidad de frecuencia.

Un sonido aleatorio característico es el ruido blanco. Se define como aquel ruido que presenta una densidad espectral de potencia constante. Un ejemplo de este tipo de ruido es el generado por una cascada de agua.

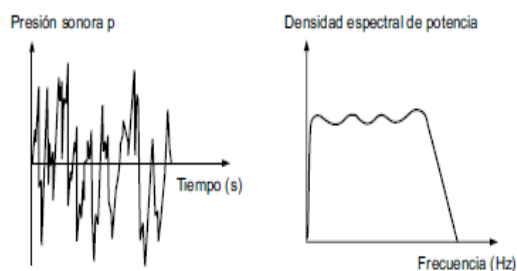


Fig. 2.10 Sonido aleatorio y correspondiente densidad espectral de potencia

2.2 Velocidad del Sonido

La velocidad de propagación de la onda acústica (velocidad del sonido) depende de las características del medio en el que se transmite dicha propagación; presión, temperatura, humedad, entre otros y no de las características de la onda o de la fuerza que la genera.

En el caso de un gas (como el aire) es directamente proporcional a su temperatura específica y a su presión estática e inversamente proporcional a su densidad. Dado que si varía la presión, varía también la densidad del gas, la velocidad de propagación permanece constante ante los cambios de presión o densidad del medio. Es decir, la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos, en consecuencia en los líquidos (como el agua) es mayor que en los gases. (Ver tabla 2.1)

Medio	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)
Aire	0	331.6
Aire	20	344
Hidrogeno	0	1,280
Agua	0	1,390
Agua	20	1,480
Cobre	20	3,580
Acero	20	5,050
Vidrio	20	5,200

Tabla 2.1 Velocidad del sonido según el medio y su temperatura

Sabiendo que la propagación del sonido es mejor en el agua que en el aire y que depende de la temperatura, deben tenerse en cuenta la influencia de dos factores adicionales en este medio que son, la salinidad y los cambios de presión asociados a los cambios de profundidad. A continuación se detallan una aproximación de la variación de la velocidad del sonido en agua de mar en función de las variables mencionadas anteriormente.

Aproximación de Medwin [6]:

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.003T^3 + (1.39 - 0.012T)(S - 35) + 0.017z \quad (2.2)$$

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

$0 \leq \text{Salinidad (en tantos por mil)} \leq 45$

$0 \leq z \text{ (m)} \leq 1000$ (con relación a la superficie)

Donde:

C es la velocidad del sonido

T es la temperatura en °C

S es la salinidad en tantos por mil

Z es la profundidad con relación a la superficie

Se considera generalmente una velocidad estándar para estudiar los fenómenos de transmisión de 1.450 m/s. Al mismo tiempo que se adopta una velocidad estándar, se elije una impedancia característica estándar de valor: $\rho c = 1.55 \cdot 10^6 \text{ Ohms acústicos}$.

2.3 Comportamiento de las ondas acústicas en la superficie del agua

Cuando se agita un punto de una superficie inmóvil de agua, se producen ondas superficiales si la superficie es *isótropa*, siendo evidente que la perturbación se va a propagar con la misma velocidad en todas direcciones a partir del punto fuente, y que en todo instante ocupa los puntos de una circunferencia centrada en la fuente, luego entonces la onda es circular. La propagación de las ondas en el agua hace intervenir varios fenómenos, la producción de una protuberancia en la superficie plana y horizontal crea en la masa de líquido un aumento de presión, que depende de la altura de la protuberancia en la vertical considerada. Además, al aumentar la superficie libre las fuerzas de tensión superficial entran en juego, siempre que el radio de curvatura de la superficie sea lo suficientemente grande, es decir en tanto que la longitud de onda sea también, este segundo efecto es despreciable frente al primero. Al estudiar la propagación de las ondas en la superficie del agua, se observa que las partículas recorren unas trayectorias cerradas que se pueden considerar aproximadamente circulares.^[5]

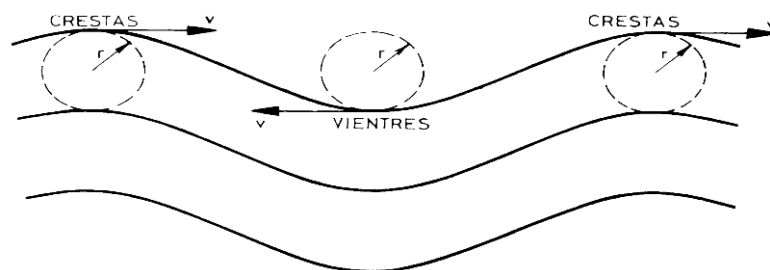


Fig. 2.11 Propagación de las ondas en la superficie del agua

Debido al movimiento, la velocidad de las partículas no es la misma en las crestas que en los valles, siendo en las primeras menor y en las segundas mayor que cuando la superficie está inmóvil.

2.4 Comportamiento de las ondas acústicas bajo el agua

Las ondas acústicas en el agua se producen, transmiten y detectan dentro de una gama muy amplia de frecuencias, que van aproximadamente de unos 2 Hz a unos 50 MHz. Se pueden considerar como ondas ultrasónicas de alta energía aquellas para las que no existe una relación lineal entre el esfuerzo aplicado y la deformación resultante.

En el agua salada la atenuación es idéntica en altas frecuencias a la del agua pura, en cambio a bajas frecuencias la atenuación es mayor, esto se debe a la salinidad del agua, y es posible que esta mayor absorción se deba también a la interacción molecular, de forma análoga al fenómeno de absorción intermolecular en el aire. La atenuación del sonido en agua es muy difícil de medir a bajas frecuencias. El valor de la atenuación anómala depende de las condiciones del agua, como por ejemplo, las burbujas de aire de ciertos tamaños y concentraciones, que producen enormes atenuaciones. En el caso de transmisión a grandes distancias la atenuación adicional se debe a la inhomogeneidad del agua.

Se ha indicado que la onda es de naturaleza esférica, pero en aguas poco profundas la onda se puede confinar entre la superficie y el fondo en cuyo caso la propagación es parecida a la de una onda cilíndrica. Bajo estas condiciones en ausencia de disipación la energía disminuye generalmente con la distancia, pudiendo alcanzarse en aguas poco profundas a bajas frecuencias transmisión a grandes distancias. En este tipo de propagación influye la forma del fondo, si es de arena, fango, roca, etc.

2.4.1 Pérdida sonora por transmisión

Si el agua se considerase como un medio homogéneo, solo los fenómenos de divergencia y absorción contribuirían al decrecimiento del nivel de presión de un sonido que se propaga a partir de una fuente.

El decremento de nivel de presión acústica cuando la onda se propaga desde r_1 hasta r_2 r “ H ” representa la pérdida por transmisión en dB

$$H = 20 \lg \frac{r_2}{r_1} + a(r_2 - r_1) \quad (2.3)$$

Generalmente las pérdidas por transmisión se dan a una distancia r con relación al nivel de presión que existe a la distancia de 1 m desde el centro efectivo de la fuente sonora, por lo que usando esta distancia de referencia la expresión (2.3) puede ponerse de la forma:

$$H = 20 \lg r + ar \quad (2.4)$$

La figura 2.11 es la representación gráfica de la ecuación (2.4), donde el valor de las pérdidas por transmisión es función de la distancia r para tres frecuencias diferentes. En la curva se puede observar que para bajas frecuencias, como por ejemplo 1 kHz la pérdida por transmisión se debe a la divergencia esférica del rayo. Sin embargo, a medida que la frecuencia aumenta, las otras curvas muestran que las pérdidas de absorción llegan a ser muy grandes.^[5]

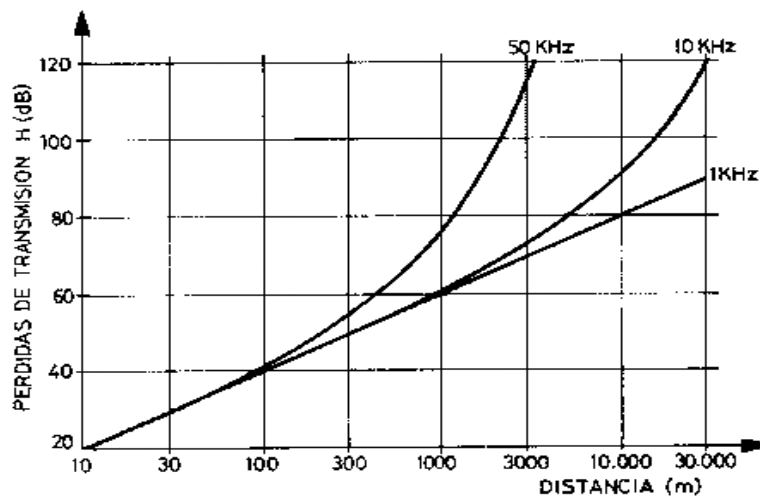


Figura 2.12 Dependencia de las pérdidas de transmisión con la distancia y la frecuencia curva A para 1 kHz curva B para 10 kHz y curva C para 50 kHz.³

Para la transmisión de energía acústica a través del agua a grandes distancias con una pérdida de transmisión mínima, deben usarse bajas frecuencias. Los factores que comúnmente afectan este fenómeno y contribuyen a un aumento en las pérdidas son una divergencia adicional debida a la refracción, interferencias constructivas y destructivas relacionadas con múltiples tipos de propagación incluyendo reflexiones en la superficie y en el fondo, difracción y difusión causados por la presencia de inhomogeneidad en el agua. Debido a la dificultad de encontrar una expresión para calcular cada uno de estos valores, todas estas pérdidas se representan mediante un término de anomalías de transmisión A dado en dB por consiguiente la expresión (2.4) se modificará:

$$H = 20 \lg r + ar + A \quad (2.5)$$

H = pérdida por transmisión

r = distancia

$a = 8,7\alpha$ (α = coeficiente de absorción)

A = anomalías de transmisión

³ Recuero López Manuel. 1999 Ingeniería Acústica, Paraninfo

2.4.2 Fenómenos de refracción

El fenómeno más importante que interfiere con la divergencia esférica y la propagación del sonido en el agua, es el de la refracción, debida a las variaciones de velocidad. Como se ve a partir de la expresión (2.2) los principales factores que influyen en la velocidad del sonido en el agua son la *temperatura, salinidad y su profundidad*. De estos tres factores el que origina mayores variaciones de la velocidad son las variaciones de temperatura.

2.4.2.1 Ley de Snell para la refracción de ondas ^[7]

Una parte de la propagación de las ondas sonoras en agua de mar puede ser representada a partir de la *ley de Snell*. Esta describe la refracción de los rayos sonoros en un medio en donde la velocidad del sonido varía. La ley de Snell para la refracción del sonido está dada por la siguiente expresión

$$\frac{\cos \theta}{\cos \theta_0} = \frac{c}{c_0} \quad (2.6)$$

donde θ es el ángulo que forma el rayo con la horizontal a una profundidad donde la velocidad del sonido es c , y c_0 es la velocidad a una profundidad donde el rayo forma un ángulo θ_0 .

Se demostrará que la trayectoria de una onda a través del agua que tiene un gradiente de velocidad constante y positivo de g m/s, es un arco de circunferencia. La refracción de los rayos sonoros que viajan a través de un sistema dependen de un gradiente de temperatura que puede producir transmisiones anómalas. Existe una región isoterma hasta una profundidad de 30 m y a medida que aumenta la profundidad esta temperatura disminuye a razón de 0,07 °C por m. En la figura 2.12 podemos observar como a unos 15 m de la superficie varios rayos originan una fuente. En un punto A la señal recibida será aproximadamente la calculada para ondas esféricas divergentes, y por lo tanto la transmisión anómala será despreciable. Por debajo de la zona A, está la zona B llamada *zona de sombra*, en la que la presión sonora teóricamente es cero. Sin embargo, actualmente las presiones medidas en la zona de sombra no son estrictamente cero, debido a factores tales como irregularidades en el gradiente de temperatura, fenómenos de difusión de la superficie del agua cuando esta agitada por acción de las ondas, etc. Sin embargo, su nivel puede estar 30 dB por debajo del valor de la divergencia esférica simple, con un valor correspondiente para la transmisión anómala. Por debajo de la zona de sombra, hay una tercera región C donde la presión sonora medida tiene un valor intermedio comprendido entre los de las regiones A y B. El decrecimiento de la presión en esta región es debido a la refracción que aparece a bajas frecuencias, lo que hace que los rayos se propaguen más rápidamente que para una onda esférica simple.

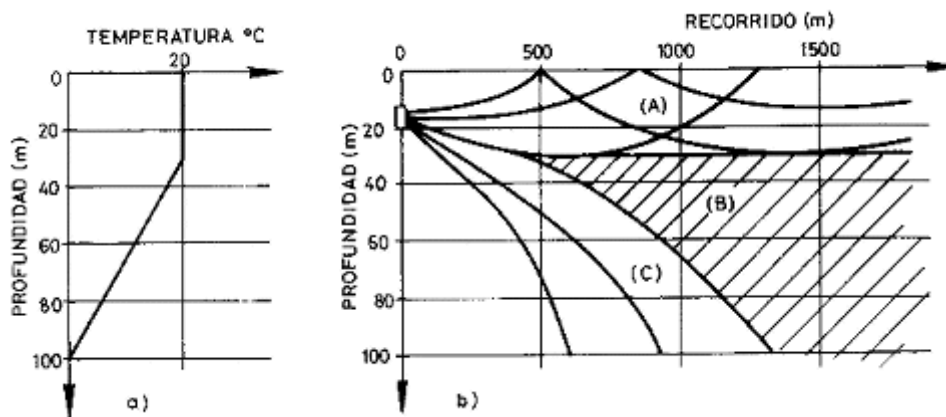


Figura 2.13. a) Termoclima, b) Recorridos de rayos acústicos típicos.⁴

La figura 2.13 detalla la refracción de un rayo pasando entre dos medios con distintas velocidades de propagación sonora.

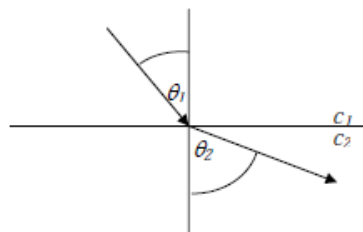


Figura 2.14 Refracción de rayo entre dos medios con distintos valores de velocidad de propagación sonora.

La figura 2.14 muestra el fenómeno de refracción del sonido producto del viaje de la señal entre dos medios con distintos valores de velocidad de propagación del sonido.

De acuerdo a la ley de Snell se observa que a medida que la velocidad del sonido crece con la profundidad el rayo sonoro se refracta hacia arriba. Del mismo modo si la velocidad del sonido disminuye, el rayo sonoro se refractará hacia abajo.

Si la velocidad del sonido varía continuamente con la profundidad, el medio a través del cual se propaga la onda sonora puede ser dividido en capas con distintos valores de velocidad de propagación del sonido.

⁴ Recuero López Manuel. 1999 Ingeniería Acústica , Paraninfo

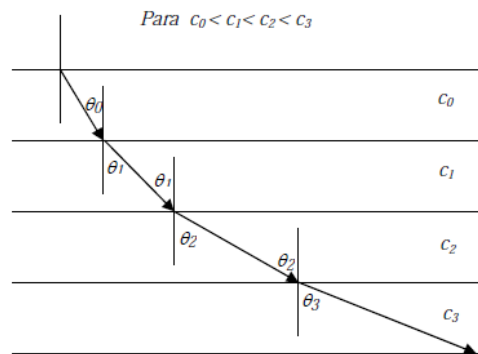


Figura 2.15 Refracción de rayo en medio dividido en capas con distintos valores de velocidad de propagación sonora.

La figura 2.15 muestra la refracción del sonido que viaja a través de un medio dividido en capas (medio estratificado). Cada capa posee un valor correspondiente de velocidad de propagación del sonido. El rayo sonoro viaja a través de la primera capa con un ángulo θ_0 con respecto a la normal de la interfase existente entre medios contiguos. Este rayo logra llegar al medio 3 con un ángulo refractado θ_3 con respecto a la normal de la interfase entre los últimos dos medios contiguos.

La trayectoria de un rayo a través de un medio en el cual la velocidad de sonido varía con la profundidad, puede calcularse mediante la ley de Snell. En la acústica subacuática los rayos de mayor interés son los que son casi horizontales, por lo cual es común describir la ley de Snell como:

$$\frac{\cos \theta}{c} = \frac{1}{c_0} \quad (2.7)$$

Donde θ es el ángulo de depresión hecho con la horizontal a una profundidad en la que c es la velocidad del sonido y c_0 la velocidad a una profundidad (real o extrapolada) en la que el rayo se volvería horizontal.

Los perfiles complicados comúnmente se simplifican para analizarlos, separándolos en segmentos cada uno lo suficientemente cortos como para que se considere que el gradiente es constante sobre su longitud. La ventaja de esto es que *la trayectoria de un rayo sonoro a través de una capa de agua de gradiente de velocidad constante g , es un arco de círculo cuyo centro está a una profundidad donde la velocidad del sonido se extrapola cero.*^[8] Para mostrar esto se considera una porción de trayectoria de un rayo con radio local de curvatura R como se muestra en la figura 2.16

2.4.2.2 Canales Sonoros.

Un tipo de refracción que presenta un interés particular es el que existe a grandes profundidades, donde la temperatura es aproximadamente constante, con un valor de alrededor 4°C, a estas profundidades las condiciones son muy estables y uniformes todo el año. En este caso la velocidad del sonido alcanza un mínimo, aumentando para menores profundidades debido al incremento en la temperatura y para grandes profundidades debido al incremento de la presión. Como consecuencia de estas condiciones, todos los rayos que se originan en esta región de velocidad mínima forman un pequeño ángulo con la horizontal tendiendo la curva a volver hacia este nivel sin alcanzar otra superficie o el fondo, formando lo que se conoce con el nombre de canal sonoro.

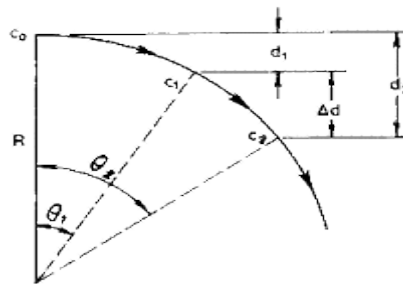


Figura 2.16 Diagrama para encontrar la relación entre un gradiente de velocidad g y el radio de curvatura R de un rayo acústico.⁵

2.4.3 Fenómenos de reflexión.

La reflexión es un fenómeno que se produce cuando una vibración acústica incide en una superficie. El tipo de reflexión depende de la rigidez y del ángulo de incidencia de las ondas.

2.4.3.1 Reflexión Superficial

Cuando una fuente de sonido no direccional se encuentra en el agua, en un punto pueden llegar ondas reflejadas tanto de la superficie como del fondo y combinarse con la onda directa. Dependiendo de las fases relativas, estas ondas pueden reforzarse o cancelarse parcialmente para producir una presión menor. Para grandes profundidades si la fuente y el receptor se encuentran en la superficie, las ondas reflejadas del fondo son relativamente débiles a distancias cortas. En estas circunstancias puede considerarse que

⁵ Recuero López Manuel. 1999 Ingeniería Acústica , Paraninfo

los fenómenos de interferencia observados surgen únicamente por la presencia de ondas reflejadas en la superficie y las ondas directas.

Si se tiene una fuente no direccional a una profundidad d y la superficie es relativamente lisa comparada a la longitud de onda, entonces la onda reflejada actúa como si fuera emitida por una imagen localizada a una distancia d arriba de la superficie y 180° fuera de fase con la fuente.^[8]

2.5 Enmascaramiento por ruido y reverberación

En todo lo expuesto anteriormente, las pérdidas por transmisión se han calculado con relación a una posición de referencia (a 1 m del centro efectivo de la fuente sonora).

Para poder predecir los niveles existentes de la señal a una distancia determinada de la fuente, debemos conocer el nivel de presión sonora generado por la fuente a una posición de referencia. El nivel de presión, en dB, relativos a 1 microbar, generados en la posición de referencia se define como el nivel de la fuente S . El nivel de fuente depende principalmente de dos parámetros, de la salida acústica de la fuente P_0 y de su índice de directividad en la transmisión d_t .

Para una fuente omnidireccional de ondas esféricas, la intensidad I en w/m^2 a una distancia de un metro del centro efectivo de la fuente que tiene una salida de P_0 watts es $I = P_0/4\pi$. La presión efectiva en N/m^2 es:

$$p^2 = \frac{\rho_0 c P_0}{4\pi} = \frac{1.54(10^5)(P_0)}{4\pi} \quad (2.8)$$

por lo que el nivel de la fuente será:

$$L = 20\log 10p = 71 + 10\log P_0 \quad (2.9)$$

en dB referenciados a 1 microbar (1 microbar = 1 dina/cm² = 0,1 N/m² = 10⁻⁶ atmósferas).

Cuando la fuente es direccional, el nivel de la misma a lo largo de su eje aumenta en su índice de directividad en la transmisión d_t con relación a la fuente sonora omnidireccional de igual potencia acústica de salida, por lo tanto el nivel de la fuente axial será:

$$L = 71 + 10\log P_0 + d_t \quad (2.10)$$

En acústica subacuática se usan generalmente dos tipos de transductores, uno de ellos tiene una superficie radiante plana, si las dimensiones laterales del transductor son grandes con relación a la longitud de onda el valor del índice de directividad será:

$$d_t = 10\log\left[\frac{4\pi S}{\lambda^2}\right] \quad (2.11)$$

dónde S es el área de la superficie radiante del transductor y λ la longitud de onda radiada. El otro tipo común de transductor es el que tiene una superficie radiante cilíndrica, el valor del índice de directividad en este caso es:

$$dt = 10\log\left[\frac{2h}{\lambda}\right] \quad (2.12)$$

Donde h es la altura del transductor, la ecuación (2.12) es válida siempre que $h > \lambda$.

Además de las anomalías anteriormente mencionadas en la transmisión de las ondas sonoras en el mar, el ruido producido en el medio influye en la recepción de la información. Existen dos tipos básicos de ruido que enmascaran la señal, uno consiste en *el ruido presente cuando es radiado por el transductor, este tipo comprende el ambiente subacuático, así como turbulencias originadas en la proximidad del transductor*. El segundo tipo consiste en una *multiplicidad de ecos débiles que vuelven de pequeños objetos localizado dentro del agua, este ruido se refiere a la reverberación*.

El ambiente del ruido dentro del agua, es la suma de todos los ruidos originados y puede representarse por la ecuación:

$$N_f = N_1 - 17 \log f \quad (2.12)$$

Donde N_f es el espectro de nivel para una frecuencia f (kHz) y N_1 es el espectro de nivel para una frecuencia de 1 kHz. El nivel efectivo del ruido enmascarante en dB, está dado por:

$$L_f = N_f - 10 \log \Delta\omega - d_r \quad (2.14)$$

Donde d_r es el índice de directividad en la recepción del transductor, y Dw es el ancho de banda del sistema receptor.

2.5.1 Reverberación

Cuando un impulso de energía sonora se radia en un recinto, se producen reflexiones (ecos) en todas las superficies interiores del mismo, después de un intervalo de tiempo, este fenómeno es el que se reconoce como reverberación.

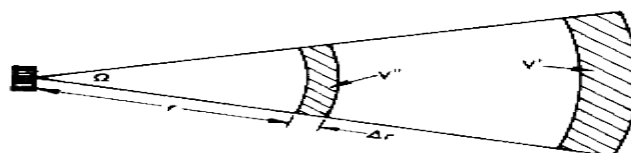


Figura 2.17 Volumen activo que produce reverberación en un tiempo.⁶

⁶ Recuero López Manuel. 1999 Ingeniería Acústica, Paraninfo

Cuando un impulso de energía sonora se radia en el agua, se observan unos fenómenos análogos a los mencionados en un recinto, sin embargo el mar solo tiene dos superficies, el fondo y la superficie, por lo que la reverberación es algo diferente.

En la acústica subacuática existen dos tipos de reverberación la de fondo y superficie (comúnmente utilizada para oceanografía) , y la reverberación de volumen, esta última es la originada por la dispersión en un volumen de agua limitado y no homogéneo.

2.6 Transductores Subacuáticos

Existen dos tipos de transductores submarinos, el *emisor* o *proyector*, que es un transductor electroacústico que convierte energía eléctrica en acústica a través de efectos piezoeléctricos o magnetostrictivos, y el receptor llamado *hidrófono* que responde a ondas acústicas en el agua y produce ondas eléctricas equivalentes.

Estos transductores deben tener una gran estabilidad, alta sensibilidad y respuesta lineal, así mismo deben ser muy resistentes a altas presiones hidrostáticas e independientes de la temperatura.

Los transductores más comunes en la acústica subacuática son bloques de material piezoeléctrico que se expanden y contraen (cambian de forma) cuando se aplica un determinado voltaje. Dentro de los materiales que más se usan para su elaboración son el Titanato de Bario (BaTiO_3) y el Titanato Zirconato de Plomo (PZT).

También son utilizados aunque en menor proporción los transductores cerámicos (disco), que poseen electrodos que cubren cada una de sus caras, de manera que un incremento de voltaje a través de los electrodos provoca un aumento en el espesor del disco, mientras que una disminución de voltaje provoca un decremento de este .

En agua, las expansiones y contracciones provocan las condensaciones y rarefacciones de presión correspondientes a sonidos. Los materiales cerámicos sintéticos usados actualmente para transductores son hechos mezclando componentes a altas temperaturas y altas presiones, sin quedar espontáneamente polarizados. La polarización es creada artificialmente aplicando un campo eléctrico muy intenso.

La sensibilidad del transductor es el voltaje generado en sus terminales por la unidad de presión acústica unidad, midiéndose en watts por microbar. Es una función del ángulo medio desde el eje acústico del hidrófono, de la frecuencia y de la señal generada. La directividad hidrófónica es una indicación de la fracción de la señal total, el hidrófono, por su sensibilidad patrón, convertirla en señal eléctrica. Un hidrófono que tenga igual sensibilidad en todas las *direcciones* tiene un factor de directividad *unido* y un índice de directividad cero

2.7 Sistemas audio distribuidos

Los sistemas de audio distribuido están compuestos por una o varias fuentes de audio que se amplifican y salen a través de una línea de voltaje constante que distribuirá la señal a las diferentes zonas a sonorizar.

Las aplicaciones y ventajas de manejar audio distribuido son muchas, algunos ejemplos reales se encuentran en centros comerciales, hospitales, cines, escuelas, y lugares de gran concurrencia.

Un sistema de distribución de audio de voltaje constante es realmente muy sencillo de implementar, una vez que se entiende el concepto básico.

La mayoría de los amplificadores de audio pueden manejar una impedancia de salida de hasta 4Ω (a veces 2Ω). Sin embargo, casi todos los altavoces tienen una impedancia de 8Ω (a veces 4Ω). Una vez que se conectan dos altavoces de 8Ω en paralelo, se alcanza el límite de 4Ω del amplificador. Si se les conecta en serie, se obtendrán 16Ω que es una impedancia segura para el amplificador, pero ineficaz en términos de transferencia de potencia.

2.7.1 Componentes principales de un sistema de audio distribuido

- 1) Amplificador con salida de voltaje constante: Se trata de un amplificador que se utiliza para conectar todos los altavoces. Una salida de línea (o auxiliar) o fuente principal se conecta a la de entrada auxiliar en el amplificador.
- 2) Atenuadores locales (controles de volumen): Aunque estos componentes son opcionales, son usados con mucha frecuencia para ajustar el volumen en cada espacio de forma independiente.
- 3) Transformadores de voltaje constante: Este es el componente que aumenta la impedancia del altavoz, permitiéndole conectarse a un gran número de altavoces en paralelo usando el mismo amplificador de distribución. El transformador tiene un lado primario consistente de varios cables que representan diferente potencia y un lado secundario con dos cables.
- 4) Altavoces: Son los que cubrirán de sonido cada espacio. Existen diferentes tipos de colocación y distribución.

2.7.2 Funcionamiento de un sistema de voltaje constante

Las empresas de energía eléctrica desarrollaron una excelente idea para disminuir la pérdida de potencia en las líneas de energía, la cual ha sido aplicada al audio. Cuando trasladan energía de un lugar a otro, atravesando cientos de kilómetros de cable, minimizan la pérdida de potencia, producto de la resistencia del cable, elevando el voltaje y disminuyendo la corriente. De esta manera se resolvió el problema de distribución, pero entendiendo bien que lo que realmente se quería distribuir era potencia y no voltaje. Como el valor de la potencia no cambia con las variaciones de los valores del voltaje y la corriente, siempre que se mantenga su razón, se pueden variar sus valores sin producir cambios en el valor de la potencia. Por ejemplo, 100 W son siempre 100 W, si uno recibe 10 V y 10 A, en términos de potencia va a ser lo mismo recibir 100 V y 1 A.

La idea de las compañías eléctricas, fue utilizar un transformador elevador en la estación generadora y luego un transformador reductor en el lugar receptor de la energía. Esto reduce la pérdida de potencia, debido a que la pérdida se produce por la resistencia que presenta el conductor al paso de la corriente, aumentando la pérdida con el cuadrado de la corriente.

La misma solución fue aplicada al audio, con el nombre de sistema de voltaje constante. En forma análoga a lo que hicieron las compañías eléctricas, en este sistema se le acopla un transformador elevador a la salida del amplificador (estación generadora) y un transformador reductor en la entrada de cada altavoz (estación reductora).

2.7.3 Tipos de voltaje constante ^[9]

Hay dudas sobre cuál es el origen del término, aunque probablemente derive de que los diferentes amplificadores que se utilizan tienen la misma tensión eléctrica de salida, que suele ser de 100 V en Europa y 70,7 V (que se suele escribir simplemente como 70 V) en los EUA. A veces también reciben el apelativo de "sistemas de alta impedancia" ya que los altavoces utilizados pueden llegar a impedancias de incluso varios miles de ohms (Ω), en comparación con los sistemas de baja impedancia en los que es raro ver una carga superior a los 16 Ω . También se habla de "sistemas de línea distribuida" así como de "sistemas de línea de 100 V" (o 70 V), lo que da lugar a la abreviatura de "sistemas de línea".

Los 100 ó 70 volts son voltajes altos teniendo en cuenta que los altavoces suelen ser de baja potencia. Para conseguir estos voltajes altos con amplificadores que no los generan con su electrónica de potencia, se utiliza un transformador elevador a la salida de cada canal del amplificador. Aquellos amplificadores que están diseñados específicamente para líneas de voltaje constante lo llevan integrado, aunque en ocasiones se utilizan también transformadores externos acoplados a amplificadores convencionales. Estos transformadores elevadores habitualmente cuentan con varios bobinados que permiten obtener salida tanto de 70 V como de 100 V, y a veces también de 25 V, que es una

tensión baja usada en los EUA porque permite una seguridad eléctrica menor a efectos legales.

Si se pudiera elegir entre 70 o 100 V elegiremos usar líneas de 100 V, ya que el mayor voltaje permitirá reducir las pérdidas del cable o utilizar cable de menor calibre, (y por tanto de menor costo). Para casos extremos, la mayor parte de los amplificadores para aplicaciones de voltaje constante que cuentan con dos o más canales permiten juntar dos canales en modo puente, obteniendo 140 V o 200 V de salida, en cuyo caso la potencia de los altavoces será cuatro veces más de lo que indique su posición para el voltaje sin puentear; por ejemplo, la posición de 15 W para 100 V correspondería a 60 W para 200 V, debiéndose evitar que pueda haber personas que, desconociendo el modo puente del sistema, seleccionen las posiciones de mayor potencia de los altavoces.

2.7.4 Amplificador de voltaje constante

Los amplificadores de voltaje constante no desarrollan siempre un voltaje constante en su salida como se podría pensar, por lo que el término “voltaje constante” puede ser confuso, lo que en verdad sucede es que el amplificador desarrolla el voltaje indicado en sus especificaciones cuando entrega toda la potencia en su salida. Por ejemplo, un amplificador de voltaje constante de 70.7 V funciona a ese voltaje cuando opera con todo su potencia, por lo que el término más correcto podría ser “amplificador de alto voltaje”.

Los amplificadores de voltaje constante utilizan un transformador elevador acoplado a su salida. Gracias a esto, se logra disminuir la corriente que circula en la línea, obteniendo como resultado una pérdida mucho menor.

En caso de utilizar un amplificador de potencia que no ha sido diseñado para funcionar en un sistema de voltaje constante, es necesario acoplarle un transformador de voltaje a su salida en forma externa. Los transformadores que se utilizan para esto, son transformadores que están especialmente diseñados para esta función.

2.7.5 Altavoces con transformador acoplado

Los transformadores acoplados a los altavoces poseen varias terminales, cada una de diferente color. Donde cada terminal posee características propias en cuanto a la potencia que consumen y su impedancia.

En muchos casos se debe acoplar un transformador externo a un altavoz común, por lo que se debe tomar en cuenta el valor de la impedancia del altavoz para determinar el funcionamiento que presentará el transformador. Los transformadores a veces no indican en sus especificaciones su funcionamiento con diferentes cargas, por lo que se deben determinar los cambios que sufrirá el transformador.

“Fundamentos Teóricos”

- Transformador con un secundario de 8Ω

i) Conectando un altavoz de 2Ω al secundario, el transformador consumirá 4 veces la potencia indicada en sus especificaciones.

ii) Conectando un altavoz de 4Ω al secundario, el transformador consumirá 2 veces la potencia indicada en sus especificaciones.

iii) Conectando un altavoz de 8Ω al secundario, el transformador consumirá la potencia indicada en sus especificaciones

Nota: La potencia que consume el transformador de la línea de potencia no debe exceder por ningún motivo la potencia máxima indicada en el transformador ya que podría dañar el sistema o los transformadores de los altavoces.

Capítulo III

“Propuesta de Sonorización de una alberca para nado sincronizado”

Introducción

Aquí se presenta el desarrollo experimental, que se llevó a cabo para dar una propuesta de sonorización para una alberca de nado sincronizado por medio de altavoces subacuáticos.

Lo novedoso del proyecto es que presentó una oportunidad para indagar sobre diversos temas relacionados a la acústica subacuática los cuales aun no son explotados en la academia de acústica; por lo mismo fue necesario indagar en aspectos demasiado específicos y se tuvo que recurrir y estar en contacto directo con las instalaciones acuáticas tanto del Instituto Politécnico Nacional como del Centro Nacional de Desarrollo de Talentos Deportivos y Alto Rendimiento (CNAR), vinculación que no fue sencilla; durante el desarrollo de este proyecto se estuvo en relación constante, además con la Federación Mexicana de Nado Sincronizado, la cual nos sirvió como un modelo empírico para ampliar nuestro campo de estudio; así mismo el trabajo desarrollado a continuación esta basado en la teoría de la acústica subacuática y se desarrolló apoyándose en software como AUTOCAD y MATLAB.

3.1 Metodología del proyecto

Aunque la propuesta de sonorización esta diseñada para una alberca de nado sincronizado, es decir con las medidas reglamentarias que esta requiere, fue necesario tomar una alberca modelo para trabajar en base a esta, la alberca olímpica de la unidad Adolfo López Mateos del Instituto Politécnico Nacional fue la elegida, por cumplir con las características y por tener una mayor facilidad de acceso a ella; durante este proceso se realizó un estudio minucioso de las características tanto físicas de la alberca como las químicas del agua contenida en esta, después de la elección del modelo de trabajo, se procedió a la elección de los altavoces subacuáticos que se utilizarían para llevar a cabo la sonorización, se realizó una indagación profunda de marcas a nivel mundial en el mercado y un filtrado de las mismas respecto a sus características, siendo seleccionado el altavoz Aqua 30 de la empresa DNH de origen Noruego por cumplir mayoritariamente con los requerimientos para nuestros fines.

De acuerdo con los análisis antes realizados, de características geométricas, químicas, de materiales, eléctricas y electrónicas; en base a la teoría de la acústica subacuática se desarrolló la distribución de los altavoces subacuáticos con el fin de otorgar la propagación de sonido dentro del agua para fines de un equipo de nado sincronizado y bajo la reglamentación que indica la FINA (Federación Internacional de Natación).

3.2 Evaluación y características de la alberca

La propuesta de sonorización está diseñada para cualquier alberca olímpica; sin embargo como se menciono anteriormente, la alberca modelo fue la alberca olímpica del Instituto Politécnico Nacional, por cumplir con las características necesarias para llevar a cabo la natación sincronizada y para poder tener acceso a las características de esta para trabajar.

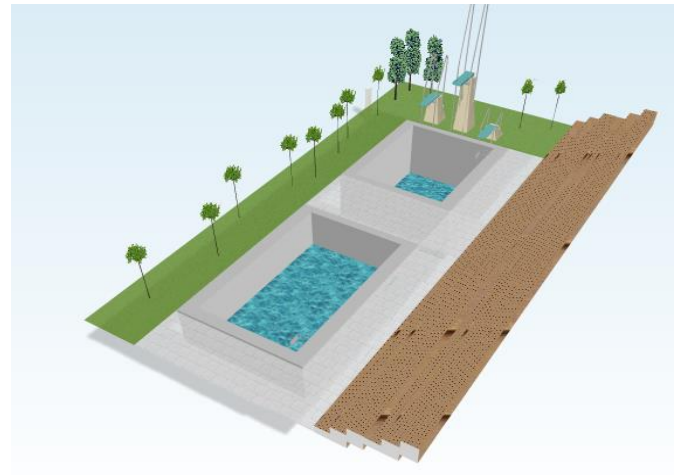


Figura 3.1 Alberca Olímpica del Instituto Politécnico Nacional.

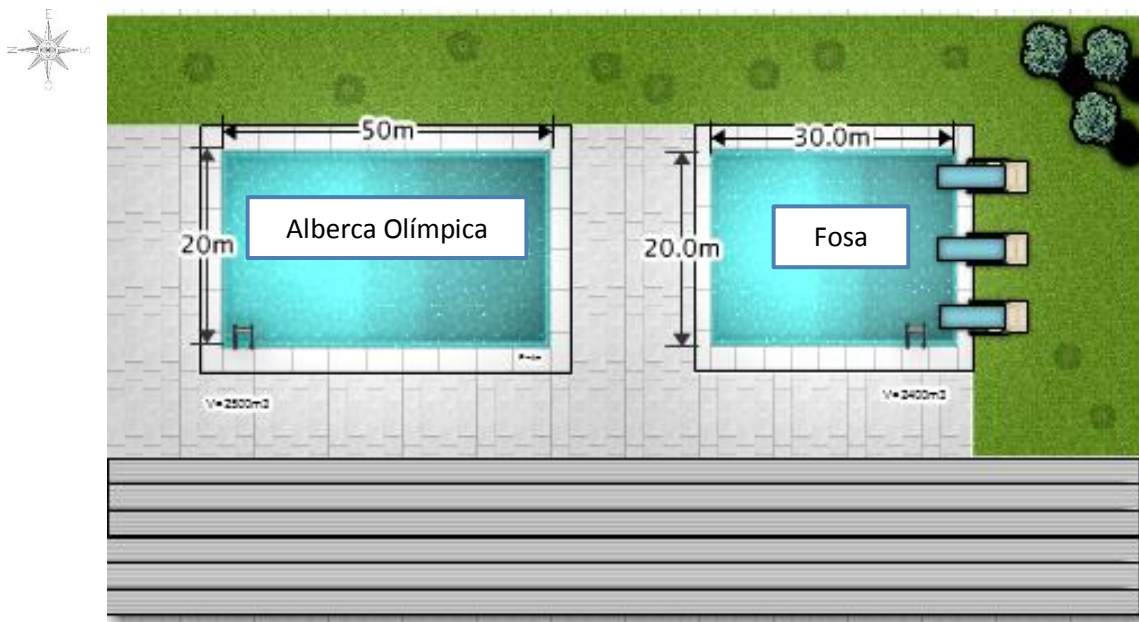


Figura 3.2 Plano de la Alberca olímpica y fosa del Instituto Politécnico Nacional.

3.2.1 Características de la alberca.

CARACTERÍSTICAS	
Dimensiones (m)	Largo : 50, Ancho: 20, Profundidad: 2.5
Materiales	Concreto con un recubrimiento interno de azulejo veneciano de 5 cm.
Temperatura	26 °C – 27 °C
PH	7.4 – 7-6
Concentración de cloro	1.5 -2.0 ppm
Tratamiento	Diario a base de tricloro precipitado.

Tabla 3.1 Características de la alberca.

Nota: La salinidad y velocidad el sonido dentro del agua son características determinadas en la seccion 3.2.1.1

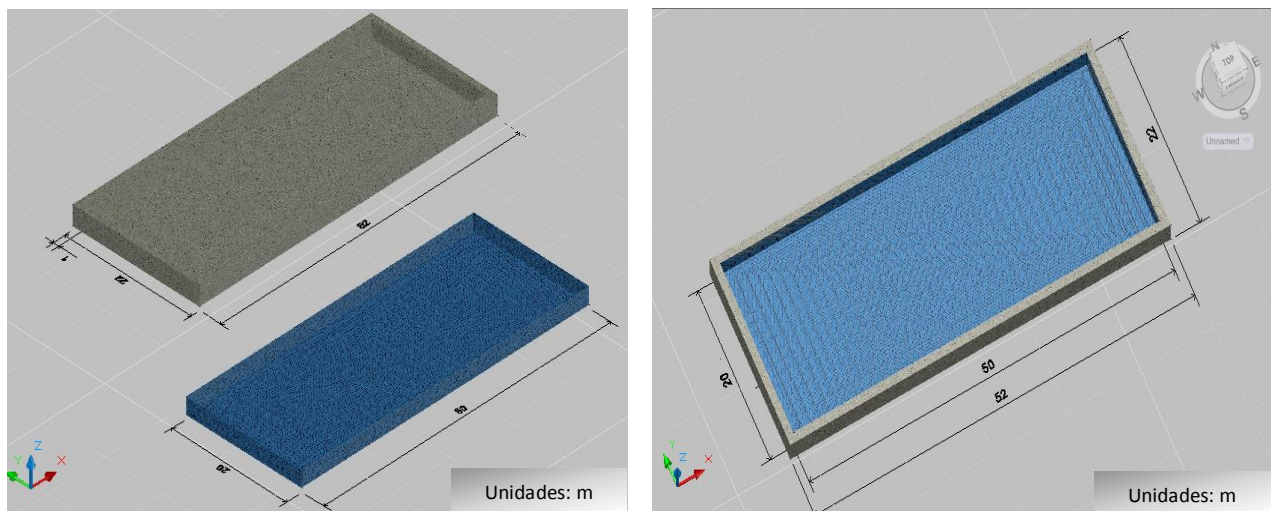


Figura 3.3 Vistas de la alberca modelo y su recubrimiento.

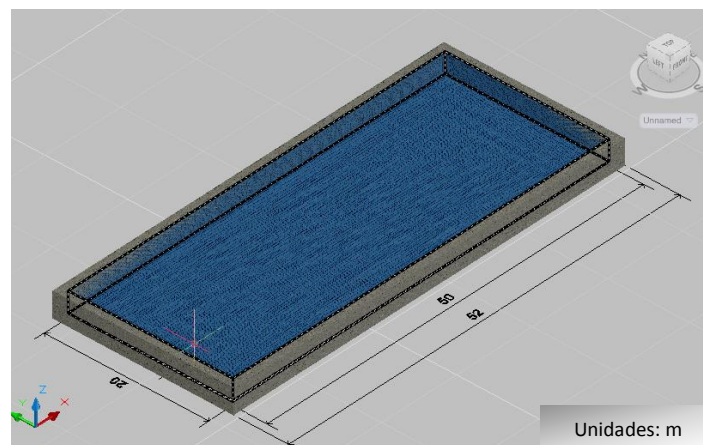


Figura 3.5 Alberca modelo con materiales y dimensiones reales.

3.2.1.1 Determinación de la salinidad y velocidad del sonido dentro de una alberca con condiciones para nado sincronizado

La propagación del sonido dentro del agua esta íntimamente relacionada con la salinidad de esta, aunque las albercas no son de agua salada, sí son de aguas salobres debido a que pasan períodos muy largos contenidos en las albercas (en la alberca de prueba 8 años); tradicionalmente se ha estimado la salinidad de ambientes acuáticos midiendo la concentración del ion más abundante: el ion cloruro. La determinación de la concentración del ion cloruro en agua se conoce con el nombre de clorinidad. A partir de la determinación de la clorinidad se puede calcular la salinidad de un cuerpo de agua utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Salinidad (\%)} = 0.03 + (1.805 \times \text{Clorinidad(\%)}) \quad (3.1)$$

Según las normativas que cumple la alberca los niveles de cloro contenidos en ella dados en tantos por mil son **1.5 ‰**.

Por lo que su salinidad es de: **2.73‰**

Con este dato puede ser calculada la velocidad del sonido mediante la ec. (2.2)

En donde la temperatura en condiciones normales de funcionamiento dentro de la alberca es de 26°C y la profundidad con relación a la superficie es de 1.8 m ya que es en la cual trabajan óptimamente nuestros altavoces. De tal forma que:

$$c = 1449.2 + 4.6(26) - 0.055(26)^2 + 0.003(26)^3 + [1.39 - 0.012(26)] (2.73 - 35) + 0.017(1.8)$$

La velocidad del sonido dentro de la alberca será: **c=1517.5314 m/s**

CARACTERÍSTICA	
Salinidad	2.73 ppm
Velocidad del sonido	1517.5314 m/s

Tabla 3.2 Salinidad y velocidad del sonido dentro de la alberca.

Estas características nos amplían, el conocimiento del comportamiento del sonido dentro de la alberca; por ejemplo podemos deducir que la propagación del sonido dentro de esta se da aproximadamente unas 4.4 veces mas rápido, que en el aire.

3.3 Evaluación y características de los altavoces

La elección de los altavoces, es una parte medular del proyecto, debido a que según sus características se llevará a cabo el análisis para la correcta propagación del sonido dentro del agua, después de una exhaustiva búsqueda del más adecuado para los fines de sonorización para un equipo de nado sincronizado, los altavoces utilizados fueron DNH Aqua30 (Ver anexo I), cabe mencionar que estos altavoces cuentan con la certificaciones ISO 9001 Y GOST (Ver Anexo II), y cubren con el código de protección internacional IP68 (IEC529), el cual asegura la protección completa al contacto así como su inmersión en agua.



3.3.1 Características de los altavoces.

Material /Color	ABS / NCS 1070-B, (Azul)
Peso	2.2 Kg
Dimensiones	137 x 137 x 53
Rango de temperatura	-20 °C a 90° C
Potencia (RMS)	20 W
Sensibilidad (1w/1m)	105 dB
SPL Máximo	118 dB
Respuesta a la frecuencia	80-20000 Hz
Impedancia	8 Ω
Angulo de cobertura	180° H, 180° V
Profundidad recomendada	0.5 m – 2 m

Tabla 3.3 Características físicas y acústicas del altavoz DNH Aqua 30

Los altavoces DNH Aqua 30 proporcionan las especificaciones mínimas que se necesitan para hacer un análisis de propuesta de sonorización, entre ellas la sensibilidad y la respuesta en frecuencia del altavoz, las cuales se ajustan a las necesidades de proyecto ya que lo que estaremos transmitiendo será música, que abarca un ancho de banda de entre 120 Hz y 16 KHz, rango en el cual los altavoces mencionados tienen una buena respuesta en frecuencia.

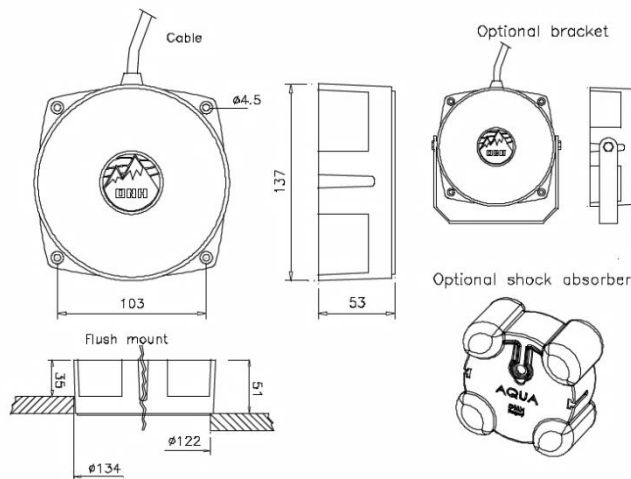


Figura 3.6 Dimensiones del altavoz DNH Aqua 30

3.4 Análisis y propuesta de solución.

Una vez sabiendo las características del medio, de la alberca y los altavoces, se persiguió lograr una distribución de estos, mediante la cual en la zona de acción de un equipo de nado sincronizado, dentro de una alberca diseñada para este fin, se logre una distribución de sonido que oscile entre los 90 dB -100 dB, como lo estipula la Federación Internacional de Natación para beneficio de quienes practican este deporte.

3.4.1. Análisis de pérdidas por transmisión

El principal parámetro tomado en cuenta para proponer, la colocación de altavoces fue la pérdida por transmisión, esta se da de manera significativa en el agua con respecto a la distancia^[8], los desarrollos que se tienen en la actualidad en cuanto a este tema están basados la acústica submarina, por lo que el registro de pérdidas por transmisión medidas son de menos a 20 m de distancia, lo cual representó un reto para el proyecto debido a que las dimensiones en las que se estuvo trabajando fueron las de una alberca olímpica es decir de entre 1 m y 50 m.

Al estudiar la figura 2.11, se observó que en el rango de distancias que manejamos la pérdida por transmisión depende únicamente de la distancia, a cualquier frecuencia, así que se pudo lograr una extrapolación de esta gráfica mediante la ec. 2.4, en el cual el valor de "a" es directamente proporcional al coeficiente de absorción del material, que en este caso es azulejo veneciano el cual según sus especificaciones tiene un coeficiente de absorción $\alpha=0$, por lo que la pérdida por transmisión en el agua, dentro de la alberca dependerá únicamente de la distancia obedeciendo a las ec. 2.4.

Así logramos obtener los valores de pérdidas por transmisión dentro del agua a pequeñas distancias como se muestra en la figura 3.7

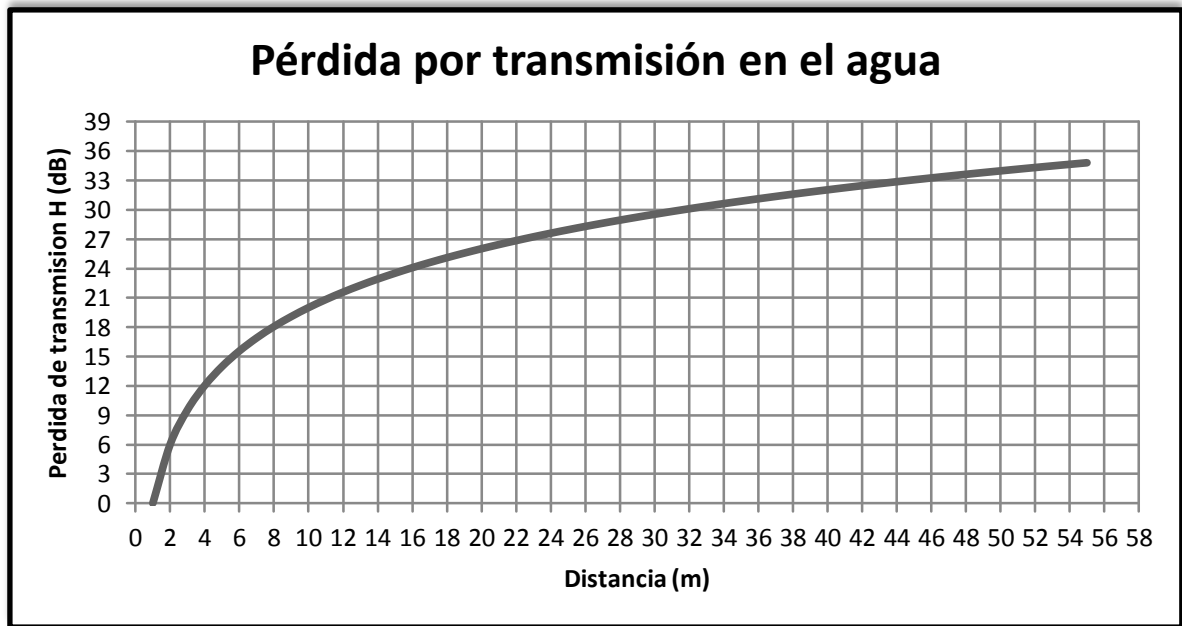


Figura 3.7 Pérdidas por transmisión a bajas distancias

Con la grafica de la figura 3.7 se pudo deducir que al doblar la distancia el Nivel de presión acústica disminuye 6 dB.

3.4.2. Distribución de los altavoces

Mediante la gráfica de la figura 3.7 se obtuvo el nivel de pérdida respecto a la distancia y con esto se propuso la distribución de los altavoces para que mediante la interacción de ellos se brinde el nivel de presión acústica deseado en el área de acción de la alberca, es decir en el área delimitada para llevar a cabo las rutinas de natación sincronizada la cual se muestra en la figura 3.8



Figura 3.8 Zona de acción de un equipo de nado sincronizado dentro de una alberca olímpica

En la zona de acción se buscó un nivel de presión acústica óptimo de 90 dB, según el artículo 15.2 de la reglamentación de la FINA vigente (*Ver anexo III*), este es el nivel de presión acústica idóneo para que una nadadora sincronizada escuche su acompañamiento musical, enmascare el ruido de sus propios movimientos así como los de sus compañeras y no tenga daños auditivos.

Se comenzó a buscar una posición para los altavoces la cual tendría que estar radiando en el centro de la alberca aproximadamente 90 dB, y expandirlos por la zona de acción, para poder hacer esto se segmentó la alberca por medio de patrones de radiación.

Los altavoces DNH Aqua 30 tienen un ángulo de radiación de 180° tanto en vertical como horizontal, esto representa una gran ventaja para el análisis por medio de patrones de radiación ya que ésta es uniforme, así con apoyo de AUTO CAD® se dibujó la radiación de cada altavoz y su impacto por distancia, hasta llegar a zonas donde interactuaban las fuentes y se analizó el efecto que producían ambas; se comenzó con dos, una frente a la otra en medio de la alberca, y su cobertura era muy pequeña, después se probó con 4 y el centro de la zona de acción superaba los 100 dB y en los extremos de dicha zona no se llegaba a los 90 dB, o viceversa, por lo que se propuso que para una sonorización óptima de una alberca olímpica se necesitan 8 altavoces DNH Aqua 30.

Cada fuente se posicionó en un lugar estratégico para interactuar con las otras obteniendo como distribución final de estas la mostrada en las figuras 3.9, 3.10 y 3.11

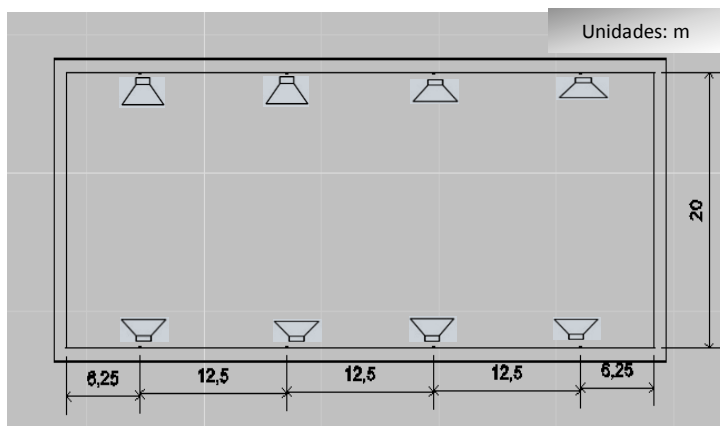


Figura 3.9 Vista de la distribución de los altavoces en plano de planta

Figura 3.10 Vista de la distribución de los altavoces en plano de corte



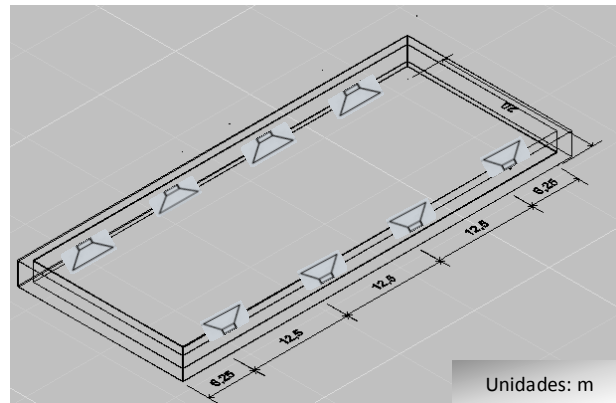


Figura 3.11 Vista isométrica de la distribución de los altavoces dentro de la alberca

Todos los altavoces fueron colocados a 1.25 m de profundidad, es decir a la mitad de la profundidad total de la alberca, con esto se asegura la cobertura total en el eje z, sin embargo cabe mencionar que para las nadadoras resulta penado, tocar cualquier extremidad de la alberca incluyendo el piso.

El análisis de la propagación del sonido dentro del agua se realizó por distancias y fragmentos de estas, como se muestra en la figura 3.12, las secciones fueron definidas doblando distancias, ya que de acuerdo a lo que se muestra en la figura 3.7 con esto se disminuyen 6 dB, es decir hay una reducción significativa de nivel de presión acústica.

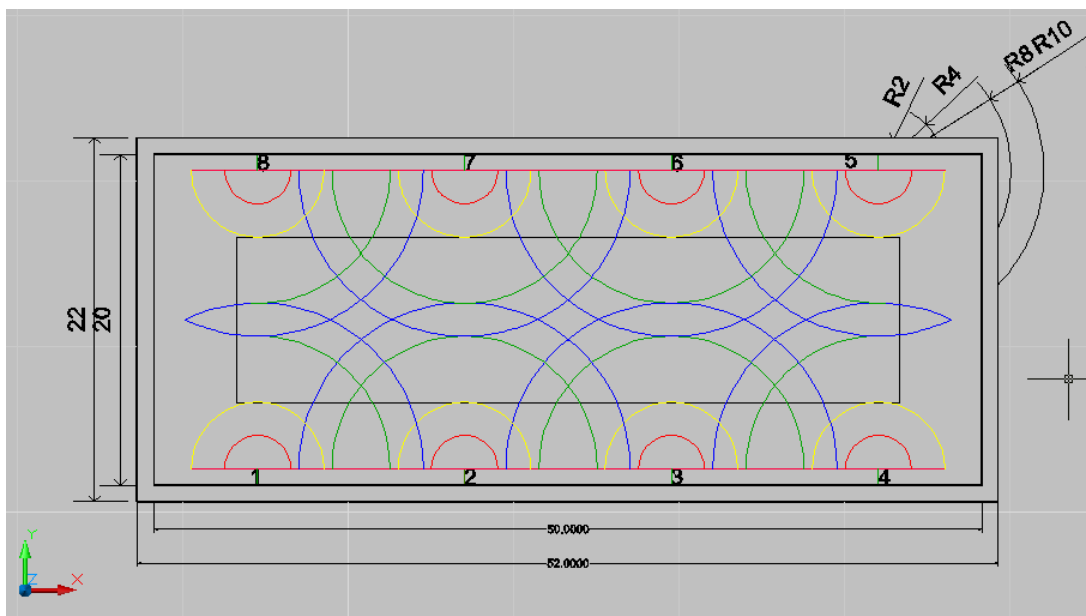


Figura 3.12 Propagación de sonido producido por cada fuente

Nota: El rectángulo representado por líneas interrumpidas en la fig. 3.12 y 3.13 representan el área de acción es decir el área de principal interés.

Cada una de las secciones fue diseñada en AUTO CAD® con el fin de ver las interacciones de estas en función de las distancias, se diferenció por colores las zonas en las cuales se distingue un cambio de presión acústica.

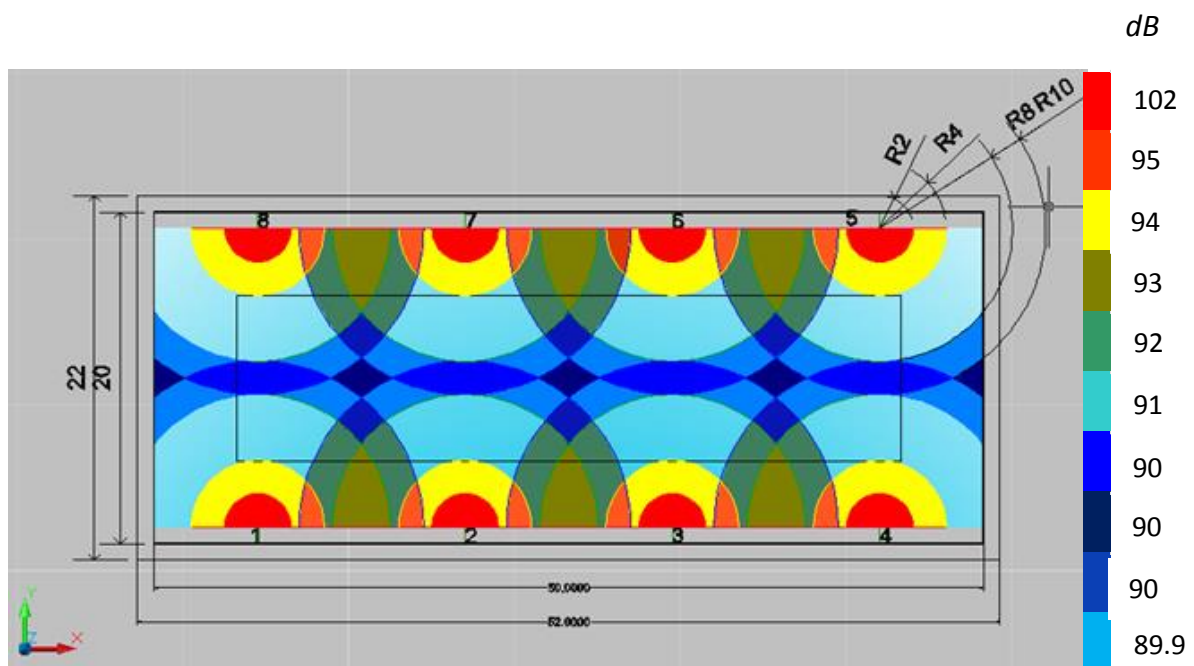
Se analizó cada una de las secciones, el nivel de presión acústica que proporciona cada una de las 8 fuentes sobre esa sección y en total el efecto que dan las 8 fuentes sobre esta interactuando al mismo tiempo, así mismo se sacó en promedio el nivel de presión acústica que se tiene en cada zona.

3.4 Resultados.

Con el diseño en AUTO CAD® y la fragmentación por secciones, se procedió al cálculo de distancias entre cada fuente y sección, esto se realizó por medio de matrices en Microsoft Excel®, para poder calcular la pérdida por transmisión que se generaba debido a la distancia, así en cada sección se calculó un rango de nivel de presión acústica (desde el punto más lejano hasta el más cercano de dicha sección respecto a la fuente) que se tiene en la zona y en promedio el nivel de presión acústica existente por sección.

La numeración de las fuentes en la figura 3.13, ayudó a realizar el análisis organizado de estas, es decir cada banda de color está relacionada con la(s) fuente(s) que la producen.

Así al calcular distancias, entre fuente-segmento, calcular pérdidas por transmisión debido a la distancia, sacar un rango de nivel de presión acústica por sección y finalmente un promedio por cada una de ellas, se obtuvo la siguiente distribución de nivel de presión acústica dentro de la alberca. (Ver fig. 3.13).



| Figura 3.13 Distribución de sonido producido por 8 fuentes DNH Aqua 30

3.4.1 Cálculo de las distancias y pérdidas por transmisión dentro de la alberca.

Por medio de geometría y con apoyo de AUTO CAD, se calculó la distancia entre cada fuente y sección de alberca, esto tomando el punto más lejano y cercano a estas, con estas distancias mediante la gráfica de la figura 3.7 se calculó la pérdida por transmisión en esa sección tomando como base la sensibilidad de cada fuente.

La mínima distancia con la que se trabajo fue 1 m, que fue el impacto en la sección mas cercana a cada fuente, y la máxima fue 49 m en la sección mas lejana de cada fuente por lo cual la mayor pérdida por transmisión por fuente que se tuvo fue de **38.8 dB**, sin embargo debido a la interacción de fuentes la máxima pérdida de transmisión por sección fue de **31.6 dB**.

En promedio en la zona de acción, la máxima perdida por transmisión, fue de de **15.1 dB** y la mínima fue **12.7 dB**.

3.4.2 Cálculo del nivel de presión acústica dentro de la alberca.

Se calculó un rango de nivel de presión acústica en la zona producido por cada una de las fuentes, al final se sumaron los impactos de las 8 fuentes en cada región y se obtuvo en rango de nivel de presión acústica total en cada zona. Al obtener un promedio de este rango se obtuvo un nivel de presión acústica promedio en cada zona.

Así se obtuvieron en promedio los resultados mostrados en la tabla 3.4

Máximo nivel de presión acústica dentro de la alberca.	102.6 dB
Mínimo nivel de presión acústica dentro de la alberca.	89.9 dB
Máximo nivel de presión acústica dentro de la zona de acción.	92.3 dB
Mínimo nivel de presión acústica dentro de la zona de acción	89.9 dB

Tabla 3.4 Niveles de presión acústica dentro de la alberca

Nota: Las tablas completas de análisis de distancia y pérdidas por transmisión por sección pueden consultarse en el apéndice I.

Con los resultados obtenidos se asegura que en la zona de acción se tiene un promedio de **91.8 dB**, y que la variación de nivel de presión acústica no afecta en la percepción del sonido ya que es menor a 3 dB en esta zona.

3.5 Instalación

Para la instalación del sistema de sonorización deben tomarse en cuenta parámetros eléctricos importantes, ya que de no hacerlo se podría poner en riesgo la vida de las nadadoras, por lo cual en este apartado se describe una propuesta optima de instalación tomando como modelo la alberca olímpica del Instituto Politécnico Nacional, sin embargo es aplicable a cualquier alberca de dimensiones olímpicas.

Toda la propuesta esta bajo la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999, Instalaciones eléctricas 680-23 (*Ver anexo IV*).

3.5.1 Equipo de instalación




8 transformadores de 8 Ω , a 20 W	
Tubos (conduit) de bronce (130 m)	
Cable 8 AWG (150 m)	

Tabla 3.5 Equipo empleado en la instalación del sistema de sonorización.

3.5.2 Equipo de audio

Debido a las características de los altavoces DNH Aqua 30 utilizados en la propuesta para la sonorización, el equipo empleado para la instalación es:




Amplificador de voltaje constante de 100 V, 8 Ω , 60 W.	
1 consola-mezcladora	
Reproductor de audio (CD, MP3, WAV)	

Tabla 3.6 Equipo de audio del sistema de sonorización.

3.5.1 Análisis de instalación

Se propuso un sistema de voltaje constante de 100 V para la sonorización, debido a las ventajas con las que cuenta este tipo de sistema

1. Minimizar las pérdidas del cableado o reducir el costo de la instalación.
2. Permitir la conexión de muchos altavoces de poca potencia
3. Cálculo sencillo de la instalación

Se conectó un transformador de 8 Ω y 20 W por altavoz lo que ayuda a mantener la impedancia y la potencia de este, así cada par de altavoces se conectaron en paralelo y a un canal del amplificador; cada canal del amplificador es de 60 W así que tenemos 20 W para evitar la saturación en algún pico del audio, ya que por cada par de altavoces a la salida de la conexión en paralelo de los transformadores se tienen 40 W. (Ver. Fig. 3.14)

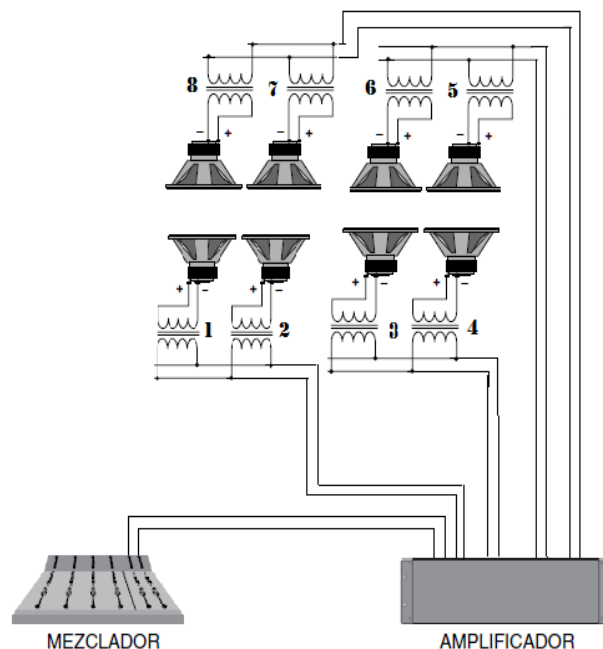


Figura 3.14 Conexión del equipo de sonorización.

Nota: Según lo mencionado en el apartado 2.7 se podrá hacer la conexión de la fig. 3.14, no solo con un par de altavoces podrán ser cada 3, 4 o los 8 en total, sin embargo habría que tener las consideraciones de potencia e impedancia tanto para los transformadores como para el amplificador.

Debido al medio de trabajo es decir el agua, toda la instalación eléctrica deberá ir por medio de tubos conduit de bronce y el sistema de audio deberá estar al menos 3m alejado de las paredes de la alberca; en el caso específico de la alberca del Instituto Politécnico Nacional, las tuberías del cableado de iluminación de la alberca son las óptimas para por estas mismas desarrollar el de sonorización, ya que están reglamentadas bajo la Norma Oficial Mexicana y la instalación sería mucho más práctica. De tal forma que sólo habría que adaptar la instalación a la posición de los altavoces por medio de tubos conduit para desembocarlos en la instalación principal.

Esta instalación se realizó desde la construcción de la alberca por lo cual se encuentra totalmente subterránea, y se controla desde el cuarto de máquinas, por lo que es aquí donde se encontraría el sistema de audio para la sonorización. (Ver. Fig 3.15)

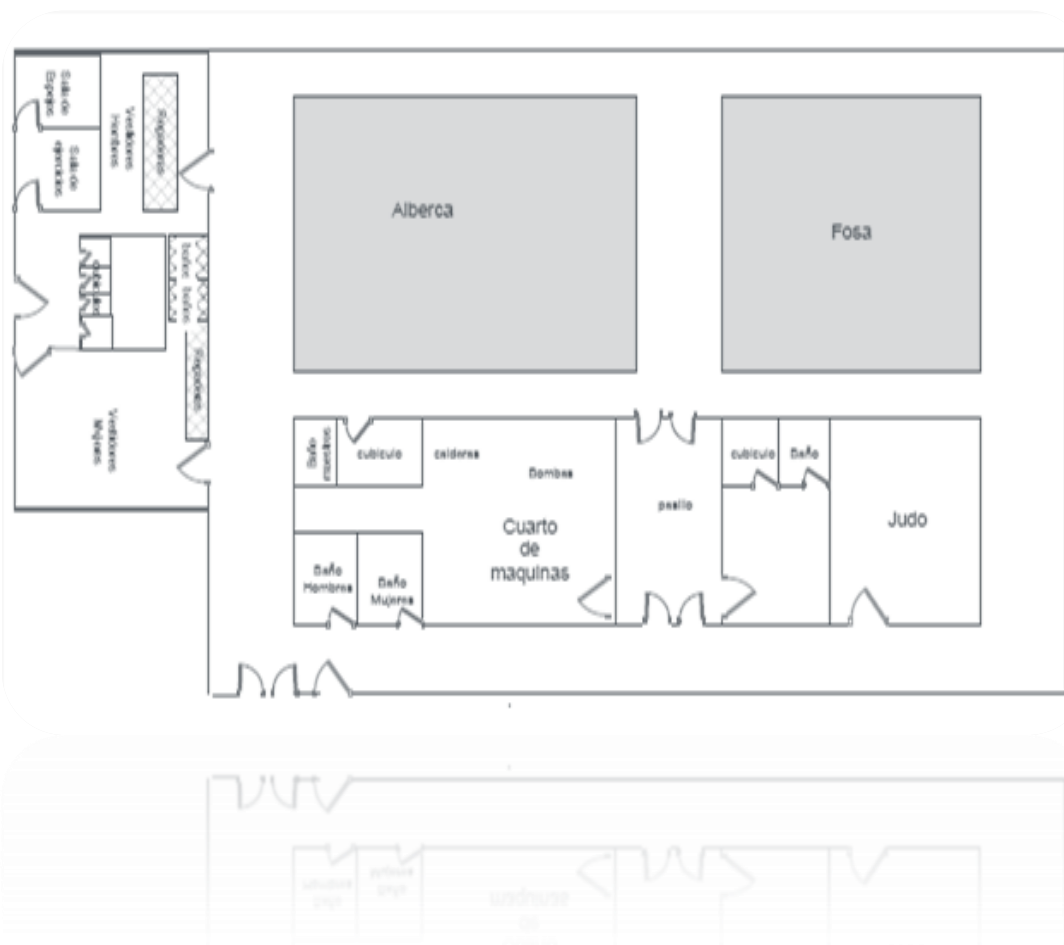


Figura 3.15 Plano de las instalaciones acuáticas del Instituto Politécnico Nacional

3.6 Análisis Económico^[7]

El análisis económico de cualquier proyecto es un punto importante a considerar debido a que con este se determina la factibilidad real financiera del proyecto por lo que para realizarlo se deben tener en cuenta aspectos como:

- Recursos humanos
- Costos de ingeniería (diseño del proyecto)
- Materiales y equipo a usar (costos directos e indirectos)
- Tiempos de trabajo

3.6.1 Costos de material y equipo

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Precio Unitario	Precio total (con IVA)
Altavoz con transformador	DNH	Aqua 30	8 pzas.	€463 - \$7,713.28	€3,704 - \$61,706.24
Amplificador	Crown	160 MA	1 pza.	\$3,980	\$3,980
Reproductor de audio	TASCAM	CD-200I	1 pza.	€454,26- \$7,640.11.	€454,26- \$7,640.11
Consola Mezcladora	Yamaha	MG 102C	1 pza.	\$3,200.00	\$3,200
Conduit de bronce	IEMSA	-	22 m	\$206.00	\$4463.3
conductor aislado de cobre (8 AWG),	Viakon	-	150 m	\$39.00	\$5,850
Costo total de equipo y material					\$86,838.65

Tabla 3.7 Análisis de costos de equipo y material

La tabla 3.7 describe que el costo del proyecto únicamente por concepto de equipo y material es de **\$86,838.65 MXN**

⁷ El análisis fue hecho con el tipo de cambio y el salario mínimo en México D.F. al 21.oct.2012

3.6.2 Costos de ingeniería y mano de obra

Para poder realizar un análisis de los costos por mano de obra, es necesario determinar un cronograma de actividades para cotizar tiempos de trabajo, así por medio de los datos contenidos en la tabla 3.8 se pudo calcular el sueldo del ingeniero y los trabajadores del proyecto.

Cronograma del proyecto																														
Actividad	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4					Semana 5									
planeación del proyecto	■																													
Levantamiento del área		■	■	■	■																									
Diseño del proyecto			■	■	■																									
Propuestas de materiales y equipo			■	■	■																									
Cotización de materiales			■	■	■																									
Pedido de materiales																														
Llegada de materiales																														
Instalación de ductos y canaletas																														
cableado																														
instalación de altavoces y bajadas																														
Instalación de equipo de de procesamiento																														
Pruebas de funcionabilidad																														
Entrega del proyecto																														
Supervisión del proyecto																														

Tabla 3.8 Cronograma del proyecto

En el caso de este proyecto únicamente se necesitará de un ingeniero y dos instaladores, es decir se tendrán los gastos de equipo y material, los costos de ingeniería (referidos a un ingeniero) y los costos de mano de obra referidos a un par de instaladores; con la suma de estos tres conceptos podremos fijar el precio total del proyecto.

Tomando como Salario mínimo= **\$ 62.33**

Cargo	Días trabajados	Salario por trabajador (MXN)	No. De trabajadores	Total
Ingeniero diseñador	25	12 salarios mínimos	1	\$18,699
Instalador	15	6 salarios mínimos	2	\$ 11,218
Costo total de ingeniería y mano de obra				\$29,917

Tabla 3.9 Costos de ingeniería y mano de obra

Cabe mencionar que los costos de ingeniería y mano de obra pueden variar de acuerdo a las condiciones iniciales del espacio en el cual se desarrollara el proyecto

3.6.3 Costos totales

Costos de material y equipo	\$86,838.65
Costos de ingeniería y mano de obra	\$29,917
Costo total del proyecto	\$116,755.65

Conclusiones

Proporcionar una distribución de sonido subacuático óptimo, para fines de natación sincronizada, es posible mediante un sistema de sonorización por medio de altavoces subacuáticos y su correcta y estratégica colocación dentro de la alberca.

En el desarrollo de este proyecto se logró la distribución uniforme (al oído humano) del sonido en la zona de acción de un equipo de nado sincronizado dentro de una alberca de dimensiones olímpicas, así con esta propuesta se obtiene un aporte importante y significativo a esta disciplina.

Los sistemas de audio distribuido, mediante amplificadores de voltaje constante presentaron una gran ventaja para la propuesta de instalación, ya que debido al número de altavoces con cualquier otro sistema se hubiera perdido potencia o se hubiera elevado el costo del proyecto.

Así también a la par del análisis y desarrollo de este proyecto, fue interesante indagar y apreciar los diversos campos de la acústica subacuática, muchos de ellos aun muy poco explotados, el comportamiento de las vibraciones y propiamente del sonido en este medio es un fenómeno sumamente amplio. El cálculo de la velocidad del sonido por medio de la clorinidad del agua de alberca permitió aseverar que la velocidad de propagación de una onda acústica dentro de una alberca no será la misma que de otra, debido a las condiciones de temperatura salinidad y profundidad; para fines de este proyecto cualquier tipo de alberca en el que se ejecute la disciplina de natación sincronizada debe cumplir con estas características en un cierto rango por lo cual no interfiere con la propuesta de sonorización, sin embargo fue interesante saber que tendría un impacto perceptible en aguas con características más abruptas.


Haciendo el análisis económico puede asegurarse que para los fines que esta diseñado es factible, ya que para la magnitud de eventos para los que se implementaría los costos son razonables.

Por último se agrega que así como se desarrolló el análisis de este proyecto, es genérico para cualquier tipo de alberca de dimensiones olímpicas, es decir no solo la que utilizamos como referencia y también para actividades lúdicas y recreativas.

Anexos

Anexo I

Hoja de especificaciones del altavoz DNH Aqua 30



ISO 9001 CERTIFIED

DNH

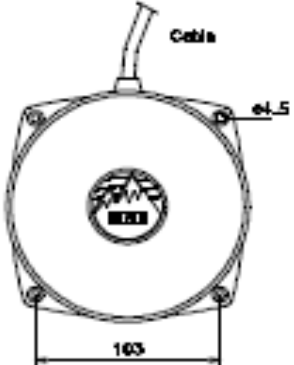
HEAD OFFICE NORWAY
DNH AS
 Phone: +47 36 98 56 00
 Fax: +47 36 98 56 10
 E-mail: dnh@dnh.no
 Web-Site: www.dnh.no

ENGLAND
DNH WW Ltd
 Phone: +44 1908 275 000
 Fax: +44 1908 275 100
 E-mail: dnh@dnh.co.uk

GERMANY
DNH GmbH
 Phone: +49 040 6969 30-0
 Fax: +49 040 6969 30-30
 E-mail: dnh@dnh.de

USA
DNH Speakers Inc
 Phone: +1 484 494 5700
 Fax: +1 484 494 5703
 E-mail: dnh@dnhspeakers.com


Aqua-30



Cable

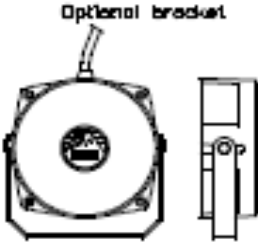
Ø 5

163

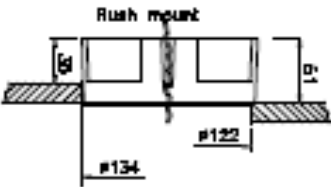


137

53



Optional bracket




Rush mount

Ø 5

Ø 122

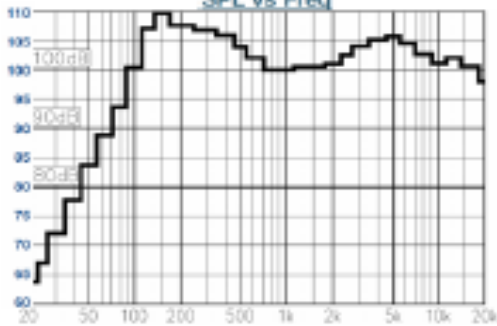
Ø 134



Optional shock absorber

Sound pressure levels at 1W/1m under water

SPL vs. freq




Specifications

Material / Color	ABS / NCS 1070-B, (Blue)
Mounting	4 screws
Termination	Cable, 5 m
Weight w/transformer	2,2 kg
IP-rating	68
Max. / min. amb. temp	90°C / -20°C
Rated / max. power	20 W / 30 W
SPL 1W/1m	105 dB
SPL rated power	118 dB
Effective freq. range	80 – 20000 Hz
Dispersion (-6dB) 1kHz / 4kHz	180° / 180°
Directivity factor, Q	NA
Options	Impedances, colors, labels

Installation, Operation and Maintenance Procedures

- Use 4 screws for mounting on wall or alternative bracket system.
- When mounting with optional bracket, use the slit on each side to connect the bracket to the loudspeaker.
- Cable termination code: Green/yellow: Ground Brown: (+). Blue: (-)
- Recommended installation deep 0,5m to 2m.
- Typical sound coverage for Aqua-30 is 200 m².
- Warning, this loudspeaker generates very high sound pressures even when driven at low power.
- For optimum performance, always use the correct voltage / power and operate within the frequency limits as stated.
- Do not open loudspeaker when energized.
- This loudspeaker is supplied with a 2 year warranty against defective workmanship.

DNH reserves the right to alter specifications without notice



T:\Data\DOC\format\SPECALITY\AQUA30.doc

Rev. 14.03.2012

54

Anexo II

Certificaciones del altavoz DNH Aqua 30

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС NO.ME06.H00396
Срок действия с 09.02.2011г. по 09.02.2014г.
№ 0185581

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ
СЕРТИНФО
ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ СРЕДСТВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
РОСС RU.0001.11ME06
115114, Москва, 2-й Косовицкий пер. д. 8. тел.(499) 235 92 07

ПРОДУКЦИЯ
Устройства выходные акустические
Loudspeakers с торговой маркой DNH
(см. приложение на 1-ом листе)
серийный выпуск

код ОК 005 (ОКП):
65 7350

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

ГОСТ Р МЭК 60065-2009

код ТН ЦЭД России:
8518 29

ИЗГОТОВИТЕЛЬ
DNH AS, Den Norske Høytalerfabrikk AS,
Graveveien 2-4, 3770 KRAGERØ, Norway

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН
DNH AS, Den Norske Høytalerfabrikk AS,
Graveveien 2-4, 3770 KRAGERØ, Norway

НА ОСНОВАНИИ
протокол № 201112106 от 01.02.2011г. испытательной лаборатории NEMKO
(РОСС NO.0001.21MJO29)

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ
Место внесения записи соответствия: на изделия, упаковке и в технической документации.

Руководитель органа: *П.И.Братухин* (подпись)
М.П. _____ (подпись)
Эксперт: *А.П.Аленин* (подпись)
М.П. _____ (подпись)

Сертификат не применяется при обязательной сертификации.



C E R T I F I C A T E

DNH, Den Norske Høytalerfabrikk AS
Kragere, Norway

has implemented and maintains an Environmental Management System
which fulfills Nemko's provision for Management System Certification and
the requirements of the following standard

NS-EN ISO 9001:2008

The certificate covers the following activities:

Design/development, purchase, production and marketing of
Loudspeakers, Beacons and Junction Boxes –
including versions for hazardous locations (Ex)

Oslo, 2010-11-09

Pål Eddle
Pål Eddle
Nemko AS, Certification Department

Certificate number: 800044
First time issued: 1992-11-23
Expires: 2013-11-23

Anexo III

Reglamentación en cuanto a acompañamiento musical de la Federación Internacional de Natación

Reglamento Natación Sincronizada 2009-2013

en los movimientos fuera del agua o el tiempo total de la rutina queda fuera de los márgenes asignados (ver la norma NS 14.1), los cronometradores informarán al Juez Arbitro o al cargo oficial designado por el mismo.

NS 15 ACOMPAÑAMIENTO MUSICAL

NS 15.1 La persona encargada del centro de sonido será responsable de la presentación apropiada del acompañamiento musical de cada rutina.

NS 15.2 Para las competiciones FINA se utilizará un medidor de decibelios para controlar el nivel de sonido y garantizar que nadie esté expuesto a un promedio de nivel de sonido superior a noventa (90) decibelios o momentáneamente a picos de sonido superiores a cien (100) decibelios.

NS 15.3 Los Delegados / Entrenadores son responsables de etiquetar clara e individualmente las cintas y/o discos (Minidisc o CD o DAT) a utilizar en competición, así como la velocidad, el nombre del competidor, y el país al que representa. Cada competidor tendrá derecho a una prueba de sonido de una parte de su acompañamiento musical antes de la competición, para ajustar el volumen y velocidad de reproducción.
Si falla la reproducción de la música durante la competición, el Delegado podrá traer inmediatamente una copia al responsable de sonido. Si vuelve a fallar se penalizará al competidor (s) con un (1) punto.
En caso de que las cintas, Minidisc, CD o DAT sean enviados antes de la fecha final de inscripción, establecida por el Comité organizador de la competición, el Encargado del sonido se responsabilizará de la correcta ejecución de la música.

NS 16 PANELES DE RUTINAS

NS 16.1 Cuando se disponga de jueces cualificados en número suficiente, actuarán dos paneles de seis (6) o siete (7) jueces, para Rutinas Libres o Rutina Combinada: un panel para Mérito Técnico y otro para la Impresión artística. Para Rutina Técnica: un panel para Ejecución y otro para Impresión General.

NS 16.2 Durante la competición de rutinas, los jueces estarán colocados en posiciones elevadas en lados opuestos de la piscina.

NS 16.3 Al final de cada rutina los jueces anotarán sus puntuaciones en los impresos facilitados por el Comité Organizador. Estas anotaciones serán recogidas antes de que se muestren las puntuaciones, y serán las notas válidas en caso de error o discusión.

NS 16.3.1 A una señal del Juez Arbitro (o del Ayudante del Juez Arbitro) todos los jueces mostrarán sus puntuaciones simultáneamente.

Anexo IV

NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999, Instalaciones eléctricas

680-23

680-23. Equipo de sonido subacuático. Todo equipo de sonido subacuático debe estar aprobado e identificado para este propósito.

- a) **Altavoces.** Cada altavoz debe estar montado dentro de una cubierta porta-equipo de metal aprobado, cuyo frente sea cerrado por una pantalla metálica cautiva, o equivalente, que esté unida y asegurada a la cubierta porta-equipo por un dispositivo de cierre del tipo positivo, que asegure un contacto de baja resistencia y requiera una herramienta al abrirse para la instalación o mantenimiento. La cubierta porta-equipo debe instalarse en un nicho en la pared o en piso de la alberca.
- b) **Métodos de alambrado.** El tubo (conduit) metálico tipo pesado o semipesado, de bronce u otros metales resistentes a la corrosión, o tubo (conduit) no metálicos tipo pesado, deben extenderse desde la cubierta porta-equipo hasta una caja de empalmes adecuada u otra envolvente, como se indica en 680-21. Cuando se use tubo (conduit) no metálico tipo pesado, se debe instalar en el tubo (conduit) un conductor aislado de cobre de 8,37 mm² (8 AWG), con terminales apropiadas para rematar en la cubierta porta-equipo. La terminación del conductor en la cubierta porta-equipo debe protegerse o encapsularse con un adecuado compuesto resinoso, para protegerla contra la corrosión del agua.
- c) La cubierta porta-equipo y la pantalla de metal deben ser de bronce u otro metal aprobado como resistente a la corrosión.

680-24. Puesta a tierra. El equipo siguiente debe tener conexión de puesta a tierra:

- 1) Luminarios subacuáticos de nicho mojado.
- 2) Luminarios subacuáticos de nicho seco.
- 3) Todo equipo eléctrico colocado dentro de 1,5 m de las paredes interiores de la alberca de nicho seco debe ser puesto a tierra a la terminal de puesta a tierra del equipo. Esta terminal debe estar directamente conectada a la envolvente del tablero. El conductor de puesta a tierra del equipo se debe instalar sin uniones ni empalmes.
- 4) Todo equipo eléctrico relacionado con el sistema de recirculación de agua de la alberca.
- 5) Cajas de empalmes.
- 6) Envolvente de los transformadores.
- 7) Interruptores de circuito por falla a tierra.
- 8) Panel de alumbrado y control que no formen parte del equipo de acometida y que alimenten cualquier equipo eléctrico de la alberca.

680-25. Método de puesta a tierra

- a) **Disposiciones generales.** Se deben aplicar las disposiciones siguientes para la puesta a tierra de luminarios subacuáticos, cajas de empalmes metálicas, envolventes metálicas de transformadores, tableros de alumbrado y control, motores y otras envolventes y equipos.
- b) **Luminarios en albercas y equipo relacionado**
 - 1) Los luminarios de nicho mojado deben conectarse a un conductor de puesta a tierra de equipo, cuyo tamaño nominal esté de acuerdo con lo indicado en la Tabla 250-95, pero que no sea menor que 3,31mm² (12 AWG). El conductor debe ser de cobre aislado y ser alojado con los conductores del circuito en tubo (conduit) metálico tipo pesado, semipesado o en tubo (conduit) no metálico tipo pesado.

Excepción 1: Se permite el uso de tubo (conduit) metálico tipo ligero para la protección de los conductores que vayan sobre o dentro de inmuebles.

Excepción 2: Se permite el uso de tubo (conduit) no metálico tipo ligero para la protección de los conductores instalados dentro de inmuebles de acuerdo con los requerimientos del Artículo 331.

Excepción 3: El conductor de puesta a tierra que esté entre la cámara de alambrado del devanado secundario de un transformador y una caja de empalmes, debe ser de un tamaño nominal que esté de acuerdo con el dispositivo de protección de este circuito.

- 2) La caja de empalmes, la envolvente del transformador u otra envolvente, en el circuito de alimentación de un luminario de nicho mojado y la cámara de alambrado hecha en obra para el luminario de nicho seco, deben ser puestos a tierra a través de la terminal para puesta a tierra del equipo del panel de alumbrado y control. Esta terminal debe estar directamente conectada a

Apéndices

Apéndices

Rango y promedio de nivel de presión acústica en cada región

REGIÓN	RANGO DE NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA EN dB (En la region)		PROMEDIO
	105.0822074	95.93310235	102.5704565
	97.39315686	93.07293207	95.74945718
	96.22209538	92.09240307	94.63066323
	95.43286529	90.69089553	93.67928188
	94.6049474	90.00207904	92.88673656
	93.43262231	88.30471664	91.58524515
	91.55544475	89.95633496	90.82907855
	91.12869253	89.76276736	90.49921071
	91.27289217	88.96629725	90.27096087
	91.6222537	87.25787926	89.96667904
	105.1237803	96.11330106	102.6272793
	97.75534049	93.71123292	96.1879312
	97.04293404	92.10669661	95.24134937
	96.57797462	92.49702969	95.00018367
	95.40541034	91.16661951	93.78384639
	94.14083847	89.11212552	92.31696792
	93.06715305	91.34227361	92.28978975
	92.46326637	91.07116371	91.82275655
	92.23613519	89.63133967	91.12616549
	92.71453605	88.08706156	90.99000642
	105.1237803	96.11330106	102.6272793
	97.75534049	93.71123292	96.1879312
	96.57797462	92.49702969	95.00018367
	97.04293404	92.10669661	95.24134937
	95.40541034	91.16661951	93.78384639
	94.14083847	89.11212552	92.31696792
	93.06715305	91.34227361	92.28978975
	92.46326637	91.07116371	91.82275655
	92.23613519	89.63133967	91.12616549
	92.71453605	88.08706156	90.99000642
	105.0822074	95.92933302	102.5700479
	97.39315686	93.07293207	95.74945718
	96.22209538	92.09245044	94.63067643
	95.43286529	90.69089553	93.67928188
	94.6049474	90.00207904	92.88673656
	93.43262231	88.30471664	91.58524515
	91.66681018	90.02104022	90.92142174
	91.12869253	89.76276736	90.49921071
	91.27289217	88.96629725	90.27096087
	91.6222537	87.25787926	89.96667904
	105.0822074	95.92933302	102.5700479
	97.39315686	93.07293207	95.74945718
	96.22209538	92.09245044	94.63067643
	95.43286529	90.69089553	93.67928188
	94.6049474	90.00207904	92.88673656
	93.43262231	88.30471664	91.58524515
	91.66681018	90.02104022	90.92142174
	91.12869253	89.76276736	90.49921071
	91.27289217	88.96629725	90.27096087
	91.6222537	87.25787926	89.96667904
	105.1237803	96.11330106	102.6272793
	97.75534049	93.71123292	96.1879312
	96.57797462	92.49702969	95.00018367
	97.04293404	92.10669661	95.24134937
	95.40541034	91.16661951	93.78384639
	94.14083847	89.11212552	92.31696792
	93.06715305	91.34227361	92.28978975
	92.46326637	91.07116371	91.82275655
	92.23613519	89.63133967	91.12616549
	92.71453605	88.08706156	90.99000642
	105.1237803	96.11330106	102.6272793
	97.75534049	93.71123292	96.1879312
	96.57797462	92.47124342	94.99295404
	97.04293404	92.10669661	95.24134937
	95.40541034	91.16661951	93.78384639
	94.14083847	89.03567034	92.29881348
	93.06715305	91.34227361	92.28978975
	92.46326637	91.07116371	91.82275655
	92.23613519	89.63133967	91.12616549
	92.71453605	88.09197552	90.99126619
	105.0822074	95.92933302	102.5700479
	97.39315686	93.07293207	95.74945718
	96.22209538	92.1205792	94.63853443
	95.43286529	90.69089553	93.67928188
	94.6049474	90.00207904	92.88673656
	93.43262231	88.39504136	91.60663353
	91.66681018	90.02104022	90.92142174
	91.12869253	89.76276736	90.49921071
	91.27289217	88.96629725	90.27096087
	91.6222537	87.2519241	89.96508402
	93.2	89.9	91.85617697

Referencias Bibliográficas

- [1] **Galiana** Mongot Tomás de, **1967**, Pequeño Larousse de Ciencias y Técnicas, Larousse
- [2] **Carrión** Isbert Antoní , **1998**, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos , UPC
- [3] **Ultrasonido**, Dr. Mora Rivera Leonardo y Dr. Almenares Montano Santiago
<http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion/ultrasonido.pdf>
- [4] **Rosado** Rodríguez Carlos. **1974** Acústica I, Editorial Trillas
- [5] **Recuero** López Manuel. **1999** Ingeniería Acústica , Paraninfo
- [6] **Medwin H.**, "Speed of sound in water: a simple equation for realistic parameters," *J. Acoust. Soc. Am.* 58, 1318-19 (1975)..
- [7] **Veloso** Alarcón Mario Enrique. **(2007)**. Simulación de propagación de ondas sonoras con aplicaciones en Acústica. Tesis. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile
- [8] **Kinsler** Lawrence E. **1999** Fundamentos de Acústica , Limusa.
- [9] **García Pablo y Vivas Manuel**. **2011** Tesis de licenciatura, IPN. Mexico, D.F
- [10] **Urick** Robert **1975** Principles of underwater sound