ANEXO I

CALIBRACIÓN DIRECTA. MÉTODO Y RESULTADOS.

La calibración un procedimiento que se emplea para determinar la relación que existe entre la medida eléctrica (voltaje) tomada por el transductor, con la medida real. Así podemos conocer cuál es la incertidumbre de la medición y, por tanto, cual es su precisión, para determinar si podemos tomar la medida como correcta o si debemos aplicar una corrección sistemática.

Antes de cualquier investigación o experimento, los instrumentos utilizados para tomar medidas han de ser siempre calibrados, para asegurarnos que van a realizar dichas mediciones de una forma correcta. Sin embargo a los dispositivos de bajo coste no se les somete a los procesos de calibración y estandarización a los que son sometidos los equipos de un coste más elevado, aunque esto no quiere decir que estos dispositivos no se pueden calibrar.

En el caso concreto de los transductores, la calibración se realiza mediante su sensibilidad, ya que sabremos que para una determinada frecuencia corresponderá un determinado voltaje y viceversa.

Al adquirir el hidrófono Aquarian H2A, se repara en que, según el distribuidor, es un instrumento no calibrable, por lo que siempre tendremos una incertidumbre desconocida en las medidas. El distribuidor indica que no es calibrable, debido a que, como se ha mencionado con anterioridad, muchas de las especificaciones de este transductor van a depender del dispositivo con el que se grabe.

A la hora de plantear el estudio de las belugas, se decidió utilizar el Aquarian H2A por ser un transductor de coste reducido adquirido de forma reciente por el departamento de acústica de la Universitat Politécnica de València y por el reto que suponía el hecho de que el distribuidor asegurara que no fuera un instrumento calibrable. . La calibración, en general, de equipos económicos democratizan el acceso a este tipo de dispositivos, haciéndolos accesibles a grupos de investigación, ONGs, asociaciones y administraciones.

Para realizar la calibración de este hidrófono, y por tanto demostrar que si es calibrable, se graba siempre con el mismo dispositivo, la grabadora H1 ZOOM, y se utiliza para el proceso dos transductores (TC 4034 y ITC-1032) de sensibilidad conocida y por tanto si son calibrables.

MATERIALES

Además de los hidrófonos y programas nombrados en el trabajo, también se utilizaron:

Transductor ITC-1032

También es omnidireccional de banda ancha, con eficacias superiores al 50% en respuesta de la señal. Está fabricado de Channelite-5400, que es un tipo de cerámica de titanato zirconato de plomo muy resistente. Es adecuado para evitar las fuentes de ruido. Es mucho menos sensible que el TC4034.

Imagen 1: transductor ITC-1032.

Características:

- Directividad: a 10 kHz
- Sensibilidad de recepción: de 1 kHz a 50 kHz
- Sensibilidad de emisión: de 1 kHz a 50 kHz
- Impedancia: de 1 kHz a 50 kHz

Grabadora H1 ZOOM

Suficientemente pequeña como para que su trasporte sea muy fácil, esta grabadora, según información del fabricante, ofrece una grabación estéreo de calidad profesional. Tiene tomas de entrada y de salida para micrófonos y auriculares, así como una toma USB con la que es posible conectar la grabadora al ordenador.

Imagen 2: Grabadora H1 ZOOM

Dispone de un nivel automático que controla las funciones de entrada para evitar la sobrecarga y la distorsión. Aunque también este nivel de entrada se puede ajustar manualmente.

Tiene incorporado, además, un filtro de corte bajo para la eliminación de diferentes tipos de ruido ambiente.

Los registros de audio pueden guardarse en dos tipos de archivos diferentes: WAV y MP3. La diferencia entre uno y otro, se basa en que los archivos WAV no están

comprimidos, es decir, contienen toda la señal grabada sin la eliminación de ningún dato. Este tipo de archivos tiene frecuencias de muestreo de 44, 1, 48, o 96 kHz y esta sincronizado de forma automática con la marca de tiempo, de forma que se puede trabajar de forma precisa con la post-producción. Es el tipo de archivo con el que se realizaran las grabaciones en la calibración y en el ensayo con las belugas.

Osciloscopio

Es un aparato que nos sirve para visualizar de forma grafica señales eléctricas variables en el tiempo. En el eje Y se representa el voltaje, mientras que en el eje X se representa el tiempo. Es decir, de una forma directa conoceremos la tensión variable con el tiempo de una señal, y de una forma indirecta, las otras magnitudes relaciones con la tensión, como es la intensidad de eléctrica.

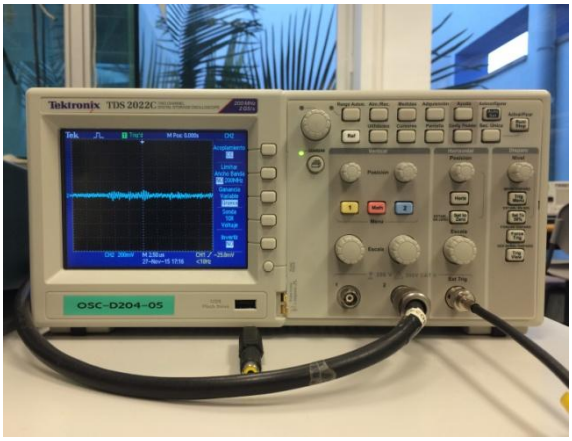


Imagen 3 Osciloscopio

Existen osciloscopios analógicos o digitales. Los primeros trabajan directamente con la señal, por lo que se puede ver las variaciones de la misma en tiempo real. Las segundas utilizan un conversor analógico-digital, con el que se almacena digitalmente la señal para su posterior reconstrucción en pantalla, por lo que es útil para estudiar eventos puntuales.

Se utilizará en el desarrollo del presente estudio, un oscilador analógico, con el que podemos ver las variaciones de la señal en tiempo real.

Generador de funciones

Es un equipo capaz de generar señales variables en el tiempo.

Las formas de las ondas pueden ser de varios tipos, pero en procesos de calibración la que interesa es la senoidal, por ser en la que se puede ver de forma más clara las características de la señal vistas con anterioridad.

En este generador de función vamos a regular la frecuencia de salida, la amplitud de salida, la tensión continua de salida, el número de ciclos, el periodo (el cual dependerá de la frecuencia)…
También es importante el control del interval trigger, que es el tiempo que ha de pasar entre la emisión de las señales, para no quemar el transductor.

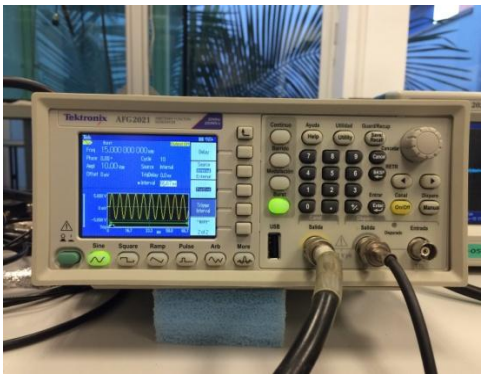


Imagen 4: Generador de funciones

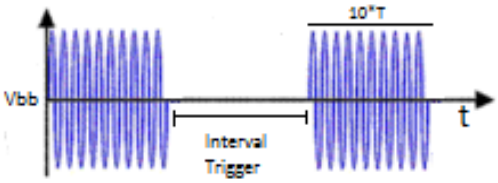
La relación seria:

TI = 100*Nciclo*Periodo (T).

Periodo (T) de 1 ciclo = 1/*f*

Si en una señal generamos 10 ciclos: 10*T

Interval Trigger: 100*10*T



CALIBRACIÓN POR COMPARACIÓN O DIRECTA

Este método consiste en someter al hidrófono que se pretende calibrar y a un hidrófono calibrado, a la misma presión producida por un tercer transductor y comparar los voltajes de salida eléctrica de los dos hidrófonos en cuestión. De esta forma a través de la sensibilidad conocida del hidrófono calibrado y las medidas de los voltajes, podremos conocer la sensibilidad del hidrófono a calibrar.

Se comienza tomando las medidas del hidrófono calibrado.

En una pecera rectangular de 102cmx21cmx20cm llena de agua, se sitúa en un extremo el hidrófono ITC-1032, el cual estará conectado al generador de funciones (ya que será el que emita la señal eléctrica); y en el otro extremo, el hidrófono TC 4034, conectado al osciloscopio (debido a que será el que la reciba).

En el generador de funciones se determina que, las señales que se emitan por el ITC-1032, siempre tengan una amplitud de 10 voltios y que el número de ciclos sean 10, debido a que de esta forma la señal tiene el tamaño adecuado y resulta más sencillo distinguirla del ruido. Además se consiguen realizar los cálculos de una forma más sencilla y rápida.

Se realiza doce repeticiones en doce frecuencias diferentes (con diferentes periodos y diferentes interval trigger), asegurándonos así que la incertidumbre de las medidas sea la mínima posible.

En el osciloscopio podemos ver la onda, de forma senoidal, que recibe el TC 4034.

Si cuando apagamos el generador de funciones, una señal se continúa a visualizar en el osciloscopio, entonces esa señal corresponderá al ruido ambiente de la pecera y no a la generada por el otro hidrófono. Aunque para cerciorar esto, en la segunda salida del osciloscopio se conecta directamente, y de forma simultánea, el generador de funciones, viendo en la mitad inferior de la pantalla del osciloscopio la onda emitida directamente por el generador de funciones, y en la mitad superior de la pantalla, la onda que llega al hidrófono TC 4034. Entonces al apagar el generador de funciones podemos corroborar cual es cada una de las señales que vemos que llega al hidrófono.

Una vez que se consiga distinguir la señal emitida del ruido ambiente, para cada una de las repeticiones, ajustaremos la señal a la pantalla del osciloscopio, ampliándola y centrándola con los controles, de tal forma que se pueda ver de una forma clara la amplitud máxima y mínima de la onda. Tras realizar estos ajustes, paramos la imagen de la onda y medimos el voltaje pico a pico, es decir, del máximo al mínimo de la amplitud.

Por lo que tendremos, para cada una de las doce frecuencias con las que emitiremos, una medida de voltaje pico a pico.

Se pasa entonces a tomar las medidas del Aquarian H2A.

En la misma pecera rectangular llena de agua, se continua a situar en uno de los extremos, el hidrófono ITC-1032, conectado al generador de funciones, porque continua a ser el hidrófono que emitirá la señal; en el otro extremo de la pecera se sitúa el Aquarian H2A, pero este no irá conectado al osciloscopio, sino que irá conectado a la

grabadora H1, ya que el calibrado de dicho hidrófono interesa que se realice con la grabadora, porque, posteriormente, es con lo que se tomaran las medidas de las ecos de las belugas.

En el generador de funciones se determina que las señales que se emitan por el ITC-1032, tengan las mismas características que en el proceso anterior de la toma de medidas del hidrófono ya calibrado, por lo que la amplitud continúa a ser de 10 voltios y que el número de ciclos continúa a ser de 10.

Las diferentes emisiones también se realizan en las mismas doce frecuencias que el proceso anterior. Cada una de estas emisiones es grabada en archivo WAV en la grabadora. Se debe de registrar la hora en la que se comienza a grabar cada vez, para después poder reconocer que archivo corresponde a cada una de las diferentes frecuencias.

Una vez realizadas todas las grabaciones (de un minuto de duración cada una), a través de la tarjeta de memoria que posee la grabadora, pasamos los archivos a un ordenador. Tras corroborar que archivo corresponde a cada una de las frecuencias, se abren uno a uno en el programa MATLAB.

Con diferentes comandos que se introducen en este software, se visualizan las señales y se obtienen los valores para el máximo y el mínimo de las amplitudes, por lo que podremos calcular la tensión pico a pico.

Los voltios que se calculan con el MATLAB están en función del fondo de escala de la grabadora. El fondo de escala de un instrumento de medida es el máximo valor medible por ese aparato, y se ha de tener en cuenta para evitar errores absolutos en la medida.

El distribuidor de la grabadora H1 ZOOM no facilita cual es su fondo de escala, por lo que se calcula en el laboratorio conectando directamente la grabadora al generador de funciones y observando, para diferentes frecuencias, a cuanta tensión pico a pico satura la grabadora. Posteriormente se analizan los resultados y se obtiene el fondo de escala de la grabadora.

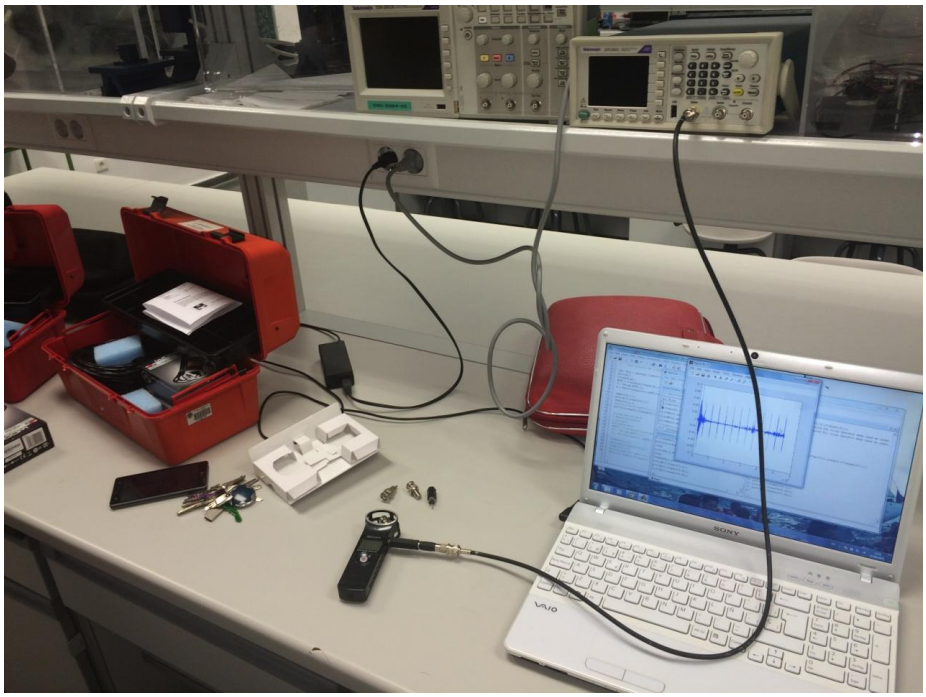
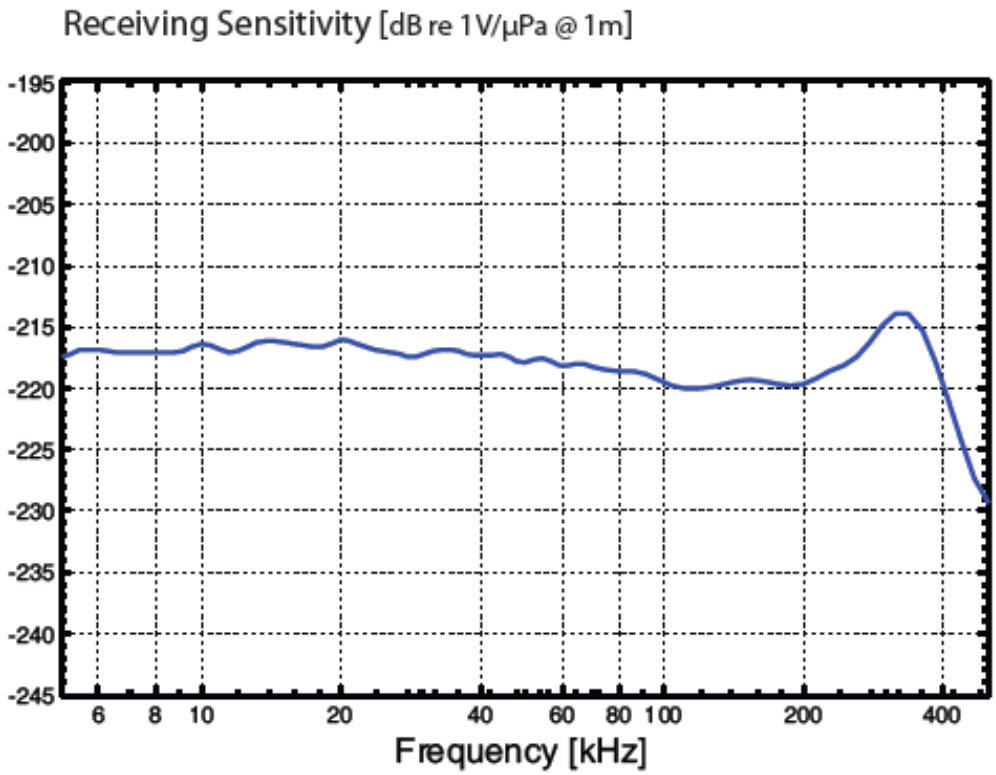


Imagen 5: Medición del fondo de escala de la grabadora

Con las medidas de tensión, que se obtienen de ambos hidrófonos, se tienen los datos necesarios para realizar los cálculos matemáticos pertinentes para obtener la sensibilidad del Aquarian H2A.

La curva de sensibilidad del TC 4034 viene expresada en decibelios (dB) relativos a un voltio partido de la presión medida en micropascales (1V/µPa) para un rango de frecuencias entre los 5 kHz y los 500 kHz.



Gráfica 1: Curva de sensibilidad del TC4034 cuando funciona como receptor.

Las medidas de las amplitudes de las diferentes señales son tomadas en milivoltios (mV), por lo que para poder trabajar con la sensibilidad (S), debemos pasar los dB a V/µPa a través de la ecuación [1] que relaciona ambas unidades.

S (dB) = 20*log(S)

S (dB) = 20*log[S (V/µPa)/1(V/µPa)]

S (V/ µPa) = 10 $^{[S\ (dB)/20]}$ [1]

Una vez que tengamos la sensibilidad en estas unidades, y tras pasar los milivoltios de las amplitudes a voltios, podremos obtener la presión para cada una de las frecuencias con la ecuación [2].

Presión (µPa) = Sensibilidad (V/ µPa)*Tensión (V) [2]

Como se mencionó al principio de este apartado, tanto el TC 4034 como el Aquarian H2A están sometidos a la misma presión por parte del ITC 1032, por lo que la presión calculada para el TC 4034 podrá ser utilizada para el Aquarian H2A, al ser la presión del ITC 1032.

De esta forma, conociendo la presión y la tensión de las amplitudes de las señales recibidas por el Aquarian H2A, se podrá calcular la sensibilidad en V/µPa de este hidrófono para las diferentes frecuencias, utilizando la ecuación [2].

Para crear la curva de sensibilidad del Aquarian H2A, se debe tener la sensibilidad en dB, por lo que se utiliza la ecuación [1] para realizar la conversión de unidades. Una vez realizada esta conversión, se sitúan en el eje X el rango de frecuencias con las que se han realizado las medidas, y en el eje Y las sensibilidades en dB. Se traza una línea uniendo los puntos de las medidas, obteniendo así la curva de la sensibilidad con la que posteriormente podremos calibrar el Aquarian H2A siempre y cuando se vaya a utilizar con la grabadora H1 ZOOM.

RESULTADOS

Calculo del Trigger Interval del TC1032 (hidrófono con el que se emite).

TC1032			
V(pico)=Amplitude=10 V			
***f* (kHZ)**	**N ciclos**	**T (ms)**	**Trigger interval (ms)**
0,5	10	2	2000
1	10	1	1000
5	10	0,2	200
10	10	0,1	100
20	10	0,05	50
30	10	0,0333333	33,33333333
40	10	0,025	25
50	10	0,02	20
60	10	0,0166667	16,66666667
70	10	0,0142857	14,28571429
80	10	0,0125	12,5
90	10	0,0111111	11,11111111
100	10	0,01	10

Tabla1: Resultado del calculo del Trigger Interval para cada una de las frecuencias en las que se va a emitir.

Registro de la tensión recibida por el TC 4034 para cada una de las frecuencias, y cálculo de la sensibilidad (tanto en dB como en V/mPa), de la presión en mPa y de los niveles de presión (LP).

Distancia	TC4034-SN 0106012							
	f **(kHZ)**	**V medido (mV)**	**S(dB ref V/mPa)**	**S(V/mPa)**	**P(mPa)**	**LP (ref 1 mPa)**	**LP (ref 1 mPa)**	**Hora**
51,9 cm	**0,5**	-	-	-	-	-	-	12:20:30
	1	-	-	-	-	-	-	12:21:10
	5	1,68	-215,5	1,6788E-11	2,8204E-14	-280,024714	-280,024714	12:22:28
	10	4,08	-216,5	1,4962E-11	6,1046E-14	-273,317697	-273,317697	12:25:07
	20	2,56	-215,7	1,6406E-11	4,1999E-14	-276,566101	-276,566101	12:29:48
	30	8,96	-216,5	1,4962E-11	1,3406E-13	-266,48474	-266,48474	12:31:53
	40	13,7	-216,6	1,4791E-11	2,0264E-13	-262,896489	-262,896489	12:33:27
	50	16,2	-217,4	1,349E-11	2,1853E-13	-262,2406	-262,2406	12:36:39
	60	9,6	-217,6	1,3183E-11	1,2655E-13	-266,985475	-266,985475	13:23:08
	70	4,96	-217,5	1,3335E-11	6,6143E-14	-272,621266	-272,621266	13:26:44
	80	3,92	-218,4	1,2023E-11	4,7129E-14	-275,565179	-275,565179	13:29:29
	90	3,44	-219,3	1,0839E-11	3,7287E-14	-277,599731	-277,599731	13:31:35
	100	2,8	-219	1,122E-11	3,1417E-14	-279,087739	-279,087739	13:11:16

Tabla 2:Resultado de la toma de medidas de la tensión del TC 4034, asi como el calculo de la sensibilidad, la presión y los nibveles de presión

Resultado de la tensión de saturación de la grabadora H1 ZOOM para varias frecuencias.

f (kHz)	Fsat	UNIDADES
20	50	mV
	75	mV
	60	mV
	40	mV
30	300	mV
	400	mV
	600	mV
50	1	V
	800	mV
	900	mV
70	800	mV
	1,2	V
	1,1	V
	1,15	V
100	1,1	V
	1	V

Tabla 3:Tensión de saturacion de la grabadora.

Con el análisis de estos resultados se determina que el fondo de escala, es decir, la máxima medida que podrá tomar la grabadora, será de 1V

Visualización de los resultados de la grabación con el Aquarian en el matlab:

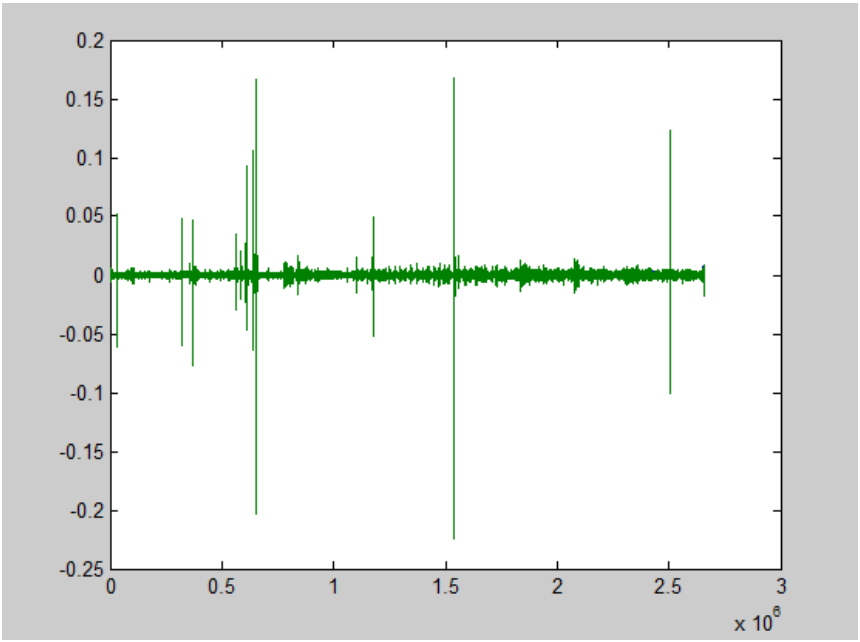


Figura 1 Visualización de la grabación con el Aquarian para la frecuencia de 0,5kHz

```
>> plot(abs(yb))
max(yb)
min(yb)

ans =

    0.1656    0.1674


ans =

   -0.2216   -0.2247

>> clear
>> [yb, Fsb] = wavread('ZOOM0002');
plot(yb);
L=length(yb);
NFFT = 2^nextpow2(length(yb));
Y = fft(yb,NFFT)/L;
f = Fsb/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
```

Figura 2: Comandos para la visualización de la grabación con el Aquarian para la frecuencia de 0,5kHz.

ANEXO II

FICHA DE RECOGIDA DE DATOS

FICHA ECOLOCALIZACIÓN A TRAVÉS DE BURBUJAS. BELUGAS

Fecha:

Sesión:

Hora:

Ejercicio	Posición del pescado	Resultado	Observaciones
1	1 2 3 4		
2	1 2 3 4		
3	1 2 3 4		
4	1 2 3 4		
5	1 2 3 4		
6	1 2 3 4		
7	1 2 3 4		
8	1 2 3 4		
9	1 2 3 4		
10	1 2 3 4		
11	1 2 3 4		