

## CONTROL REMOTO DEL TANQUE DE EXPERIMENTACIÓN HIDROACÚSTICA DEL INSTITUTO DE ACÚSTICA DEL CSIC.

PACS: 43.58.-E, 43.30.-K

Carlos Ranz y Mario García

Instituto de Acústica. CSIC  
C/ Serrano 144. 28006. MADRID  
e-mail: [iacrg32@fresno.csic.es](mailto:iacrg32@fresno.csic.es)

### SUMMARY.

The Underwater Acoustics Tank Laboratory at the Instituto de Acústica, CSIC, has been recently reshaped. The new tank framework introduces the installation of two bridges with an automatic control on the three coordinates and the angle (Ranz & Cobo, 1998). In the last months the hardware and software necessary for sequencing the signal acquisition with the bridges motion has been incorporated. While being always necessary one operator, at the laboratory, to survey the tank activities, the actual structure allows to carry the full control of the tank motion as well as the signal acquisition out by any person, at any place, through the usual www network support. This paper describes the actual installation and the facilities involved.

### INTRODUCCIÓN.

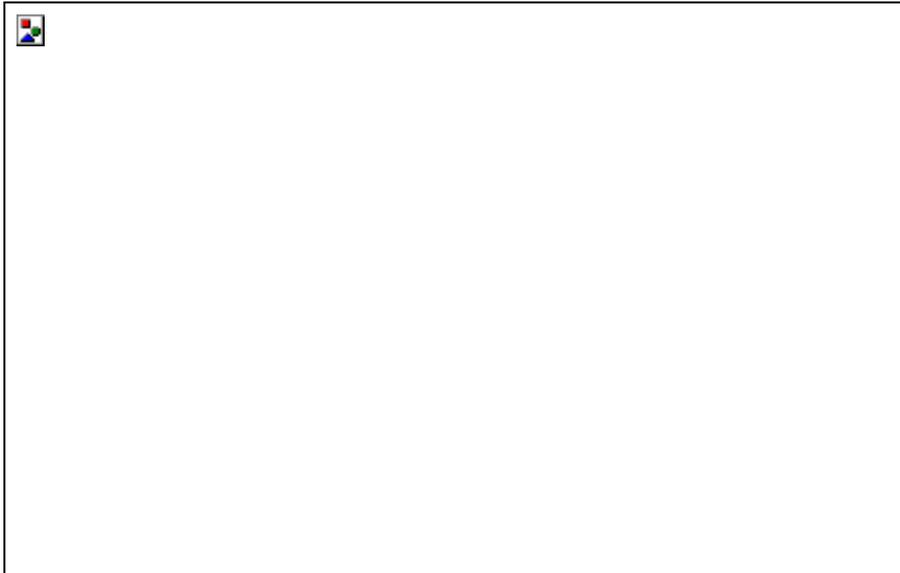
El Tanque de Experimentación en Acústica Subacuática instalado en el Instituto de Acústica, CSIC, ha sido renovado recientemente. La renovación a la que hacemos referencia ha consistido en sustituir el viejo puente soporte del emisor, y el más pequeño puente soporte del receptor, por dos puentes idénticos, carro 1 y carro 2, cuyos movimientos pueden programarse desde un ordenador externo moviéndose a una determinada velocidad y con una precisión prefijada, (Ranz y Cobo, 1998). Esta primera etapa, muy importante, ha sido complementada con una segunda en la que se ha contemplado todo el procedimiento inherente a la secuenciación de varios procesos consecutivos: generación de señales-movimiento de sensores-adquisición de señales. Esta secuencia simple encierra todo lo complejo que pueda ser un proceso de medida, pues por un lado es necesario generar un cierto tipo de señal (el más pertinente en relación con la experimentación), mover los sensores de acuerdo con una determinada trayectoria y finalmente medir (adquirir) las señales en el instante preciso y en el punto preciso. Una vez que la experiencia a realizar en el seno del tanque ha sido diseñada, por ejemplo introduciendo una trayectoria sugerida por un usuario remoto, o poniendo a punto una experiencia (p.e., estudio de la respuesta reflexiva de un determinado material) diseñada también remotamente, el usuario remoto tiene la posibilidad de gestionar la realización de la experiencia desde el comienzo hasta el final. La presencia de un operador de supervisión en el Tanque Laboratorio es únicamente necesaria como factor que permite la gestión de las trayectorias, si es que estas varían, así como del cambio de sensores, si fuera necesario. Por usuario remoto entendemos cualquiera autorizado a través de la red propia del Centro, o bien de la red que se puede disponer en entornos como son las Universidades y OPIs, o ya de un modo más general, de la red INTERNET.



En este trabajo se presenta una descripción de todas las actividades que han conducido a posibilitar las actividades enumeradas en este apartado.

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

Esquemáticamente el sistema responde a una estructura como la que se muestra en la Figura 1.



**Figura 1. Esquema del Sistema de Control del Tanque Laboratorio.**

La trayectoria es el punto de partida básico del sistema; cada trayectoria se puede generar desde un software específico titulado Editor de Trayectorias Automáticas, al que aludimos más adelante. Cada trayectoria del sistema es una secuencia de instrucciones en la que aparecen las coordenadas de salida y las de llegada seguidas de las órdenes correspondientes, p.e., esperar la entrada de una determinada señal. El ordenador PC1 es el que lleva en su interior la gestión de los movimientos de los puentes, (o sea interpreta la secuencia de acciones implícitas en la *trayectoria*): los dos conjuntos de coordenadas  $x,y,z$ , y  $\alpha$ , a través del cuadro de control en el que se tiene toda la electrónica de control, los encoders, y dispositivos auxiliares que generan las señales eléctricas que a su vez permiten el movimiento de los puentes; este controlador, a su vez, conecta, en tiempo real, con otro controlador, PC2, vía RS232, que es el encargado de generar el tipo de señal a emitir por el sensor emisor así como la secuencia de emisión de la misma; es también el responsable de facilitar la adquisición de la señal, emitida por el proyector hidroacústico, por parte del sensor receptor. La tarjeta PCI-MIO-16E-4 de National Instruments, montada sobre el PC2 es la responsable de la generación y adquisición de señal, y sirve también de interfaz con el cuadro de control conectada al PC1 a través de un sistema de Entradas/Salidas ; este dispositivo unido a las Entradas/Salidas del Cuadro de Control (8 entradas, 8 salidas) consigue el sincronismo entre movimiento de sensores y generación/adquisición de datos en el tanque.. La secuencia cualitativa de acciones es la siguiente: 1. Mediante el Editor de Trayectorias se genera la más adecuada al experimento. 2. La trayectoria introducida en el PC1, se activa. 3. El PC1 a través del cuadro de control ordena a los dos puentes que accedan a la posición implícita en el movimiento siguiente de la trayectoria. 4. Alcanzado el punto buscado de la trayectoria, el PC1 informa al PC2 de la situación alcanzada. 5. La tarjeta de adquisición genera la señal. 6. La tarjeta de adquisición detecta la recepción de la señal. 7. La tarjeta de adquisición informa al PC1, vía E/S que está preparado para una nueva adquisición en el próximo punto de la trayectoria. 8. El PC1 a través del cuadro de control ordena a los puentes el movimiento hacia el punto siguiente. 9. Finalizado el experimento los informes de resultados se generan automáticamente. Toda la secuencia, según interés, se puede ejecutar de manera automática o bien de



una manera manual, figura 3.

La generación de señal se lleva a cabo en un entorno MATLAB. Esto permite crear cualquier señal aprovechando las posibilidades de que dispone MATLAB. Como señales estándar se disponen de:

- Señal sinusoidal.
- Señal cuadrada.
- Señal aleatoria con estadística prefijada.
  - + Señal aleatoria acotada.
  - + Señal pseudoaleatoria acotada.
- Señal FM:
  - + Señal Chirp.
  - + Señal Choip.
- Señal Personalizada.

La señal o señales generadas, se introducen en los ficheros correspondientes los cuales serán llamados desde la pantalla de control de la experiencia en el tanque, figura 3.

#### **Comunicación entre movimientos y adquisición de señal.**

En esta comunicación el primer requisito que se plantea es el de la correcta sincronía entre la toma de datos y el movimiento de los puentes: C1 y C2. Este sincronismo básico se consiguió a través de un interfaz analógico entre las señales digitales de control, tarjetas E/S en el cuadro de control, con las señales digitales de control de la tarjeta de adquisición. La puesta en funcionamiento de esta comunicación se llevó a cabo mediante la conexión, vía cable serie RS-232, entre los PC1 y PC2 junto con el oportuno protocolo de comunicaciones.

El interfaz analógico de las señales digitales se compone de una caja de conexiones incorporando una placa analógica de acoplamiento de señal; así se acondicionan las E/S digitales entre la tarjeta de adquisición y el armario (cuadro) de control de los puentes del tanque. La placa analógica se compone de 16 terminales, 8 de ellos como entradas, y los 8 restantes como salidas. Las entradas aceptan estímulos de 5V procedentes de la tarjeta de adquisición aunque la señal se amplifica, vía operacional, a los 12 V cc. Un problema inherente a la instalación es el alto nivel de ruido e.l.m. generado en el cuadro de control, ruido que a través de los cables de conexión se inducían en la tarjeta de adquisición; este problema se solucionó mediante la inclusión en el camino de las señales de un filtro paso bajo de primer orden y frecuencia de corte de 900 Hz.

El diálogo coherente entre los PC1 y PC2 se introduce a través de una línea de comunicación serie que establece y supervisa el control de las señales. El protocolo de comunicaciones es tal, que atiende a toda petición de información de situación ( $x$ ,  $y$ ,  $z$  y  $\alpha$ ), de cada uno de los puentes, a través de la lectura de las señales en los puertos digitales, en la tarjeta de adquisición de señal. Un interfaz gráfico de usuario, figura 3, recoge las posiciones de los puentes, posiciones recibidas vía RS-232. La petición de posicionamiento de cada uno de los puentes sigue siempre la misma rutina de manera que sólo es posible la comunicación cuando los carros (puentes) están en reposo. De manera secuenciada los procesos son los siguientes:

- Antes de la petición de situación de los puentes, se remite desde el PC1 (control de movimientos) una señal TTL que es leída por la tarjeta PCI-MIO-16E-4, señal que establece el inicio de la comunicación entre los dos PC's.
- El PC que controla la adquisición remite una solicitud de posición del C1 al puerto serie COM1.
- La solicitud, a través de la línea serie, es leída por el PC1.
- El PC1 envía la posición actual al PC2 a través del puerto serie COM2.



- A la recepción de esta información el PC2 activa una salida digital que comunica al PC de movimientos que puede continuar con el proceso de comunicación.
- Se repite la secuencia de trasvase de señales pero ahora referidas al carro 2.
- Finalizada la última secuencia, el PC2, de adquisición, informa al PC1, de movimientos, que se continuará el proceso experimental dando por concluido el proceso de comunicación.

El proceso de comunicación se activa siempre que lo solicite el PC1, de movimientos, vía señal digital remitida al PC2, de adquisición. En este proceso el Editor de Trayectorias juega el papel primordial de secuenciar las correspondientes comunicaciones vía RS-232.

- La experiencia finaliza con la orden de finalización de tarea.

### **Trayectorias en el Laboratorio Tanque. Trayectorias “componentes” básicas.**

Los movimientos de los puentes en el tanque serán función de las actividades que se puedan llevar a cabo en el mismo. Existe una alta probabilidad de que las experiencias se realicen con los sensores situados en el eje acústico del tanque, y en este caso es de esperar que los sensores se sitúen en una posición única. Esto es lo que se puede esperar en actividades como las de calibración. En otras situaciones uno de los carros, o los dos, se mueven ejecutando movimientos simples como pueden ser giros alrededor de los ejes acústicos de los sensores, (p.e. medidas de directividad) o líneas rectas acercándose a, o alejándose de un punto.

En otras circunstancias el movimiento de los sensores se ha de realizar sobre un plano. El Editor de Trayectorias contempla dos modos de hacer esta exploración. Si la exploración se ha de realizar en tres dimensiones es importante decidir qué tipo de superficie se selecciona como base de exploración de partida. El Editor contempla la posibilidad de llevar a cabo la experiencia moviéndose sobre un paralelepípedo, sobre un cilindro o sobre una esfera. Se puede pensar que cualquier superficie en 3D podrá aproximarse por cualquiera de las tres superficies anteriores circunscrita a la superficie de que se trate, lo que implicará arrastrar un factor de corrección distinto para cada punto, en principio.

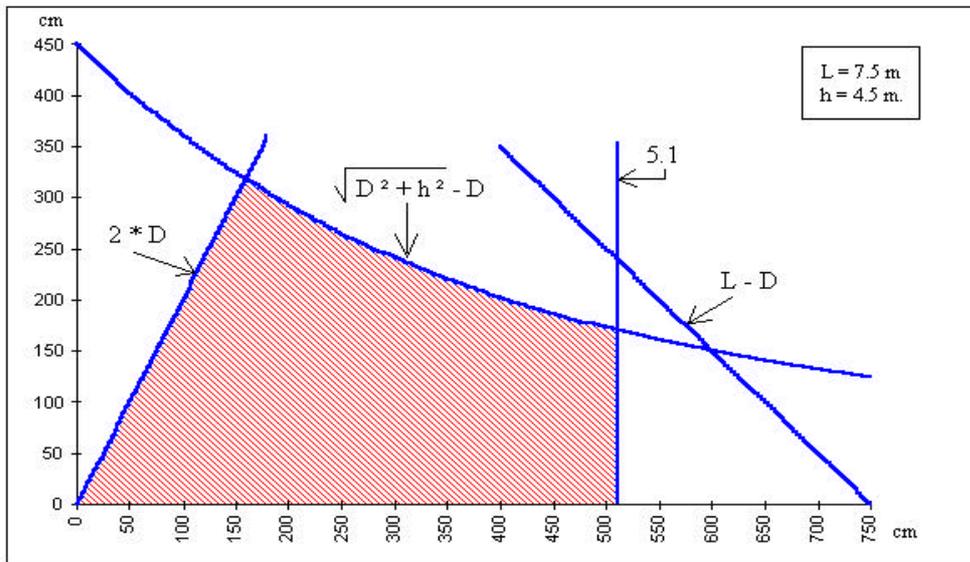
El sistema de posicionado del que se dispone permite, no obstante, una última solución cual es la de editar “paso a paso” la trayectoria correspondiente. Esta solución evidentemente será útil siempre y cuando no se requiera secuenciar el movimiento automático con la generación/adquisición de señales. O cuando la trayectoria es tan complicada que no es resoluble ni aproximable a través de trayectorias básicas componentes. Esta solución deberá ser siempre la última opción pues no hay que olvidar que la estructura interna del editor funciona de manera que se requieren introducir uno por uno los datos correspondientes a las coordenadas y ángulo de los dos carros, seguidos de las órdenes de espera o acción correspondiente, en total 13 instrucciones por movimiento. Cualquier trayectoria por pequeña que esta sea se convierte en una actividad enormemente tediosa.

Bajo este punto de vista podemos generar un fichero de texto externo conteniendo todas las instrucciones de control automático. Este fichero instalado en la memoria de trayectorias del sistema PC1, resuelve el problema. Las instrucciones que han de considerarse son:

- **Coordenadas.** Posición coordenada, y ángulo, en la que deberá finalizar cada puente.
- **Velocidad.** Velocidad a la que se moverán los puentes, en % respecto a la máxima: 3 m/minuto.
- **Precisión.** Precisión del movimiento, en % respecto al valor máximo:  $\pm 1$  mm, y  $\pm 0.5^\circ$ .
- **Espera.** El sistema no realizará ningún tipo de operación durante un determinado tiempo valorado en milisegundos.
- **Entrada.** No se producirá ningún tipo de acción mientras no se detecte un nivel activo o no activo en una entrada digital prefijada correspondiente a las tarjetas de entrada-salida del cuadro de control.



- **Salida.** Se activa o desactiva una determinada señal digital correspondiente a una salida situada en las E/S del cuadro de control.



**Figura 2. Zona óptima de trabajo en el Tanque considerando todas las posibles limitaciones.**  
Eje abcisas: Separación longitudinal de transductores. Eje ordenadas: Longitud del impulso en cm.

Con este conjunto de subconjuntos de instrucciones y de acuerdo con el formato descrito se puede diseñar desde cualquier programa exterior al programa de control en el PC1, la trayectoria que se requiera.

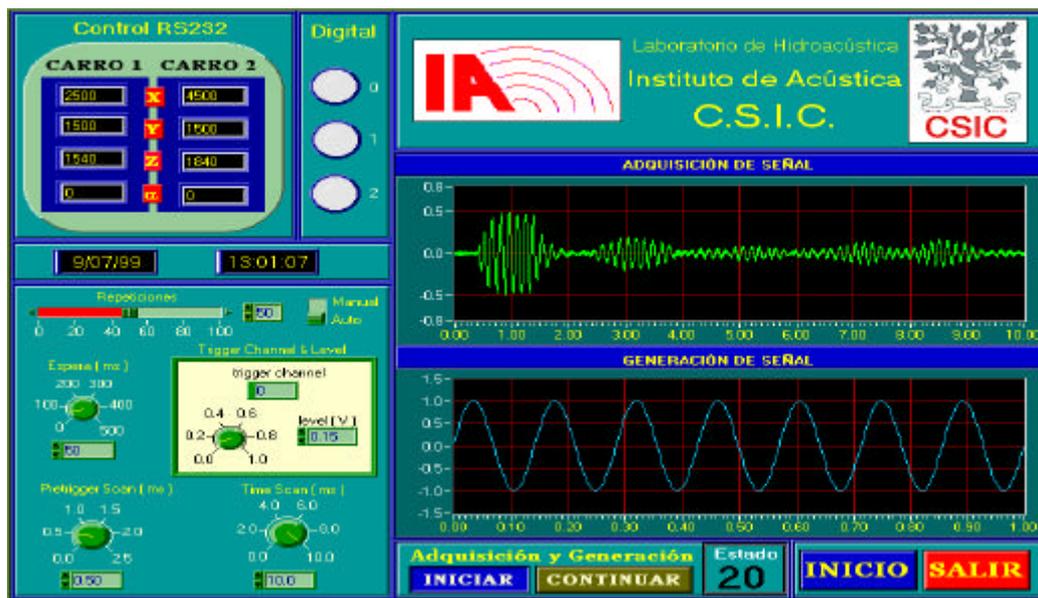
Debido a las limitaciones físicas de un tanque de experimentación, esta tarea está sujeta a restricciones: p.e., la separación entre transductores será función del tamaño de los mismos, de sus propiedades intrínsecas, como es el factor de calidad, de la frecuencia de trabajo y de la dimensión del tanque, y todo para que se pueda asegurar que los sensores receptores están en el campo lejano de los emisores y que las señales directas se discriminan de las reflejadas en los límites físicos del tanque, figura 2.

En la figura 2, D es la separación entre transductores, h es la profundidad del tanque y L su longitud. Debido a los límites impuestos en los movimientos automáticos del tanque ("zonas de seguridad"), un nuevo límite aparece a los 5.1 m. En esta figura se supone que los sensores están alineados en el eje central longitudinal del tanque. Al considerar la forma y el tamaño de los sensores los criterios de separación mínima dependen por un lado de la longitud de onda de la señal y del tipo de experiencia, (Ranz, C., 1969), criterios que habrán de ser unidos a los expuestos más arriba; cuando existan dos posibles criterios se seleccionará el más limitativo. En el laboratorio tanque es factible ejecutar una larga serie de experiencias de mucho interés, especialmente si a la estructura estandar de un tanque se le añaden las derivadas de un control de movimientos sincronizado con la generación y adquisición de las señales que intervienen en el proceso experimental.



Las trayectorias paralelepípedicas, cilíndricas y esféricas, pueden en principio abarcar un gran número de posibilidades experimentales, además de las trayectorias lineales y trayectorias superficiales, estas últimas divididas en trayectorias en **G**, y en **Zig-Zag**. En todos los casos es necesario proporcionar: la posición origen, la posición final y las distancias incrementales lineal/radial y angular. No se ha de olvidar que la estructura y el formato de los ficheros de trayectorias externas habrán de estar regidos por los criterios básicos inherentes a la instalación primitiva del Tanque y enumerada brevemente más arriba.

La figura 3, muestra la pantalla de presentación y control del tanque. En el control RS232 aparecen las coordenadas reales de cada uno de los carros. A su derecha los tres botones informan del estatus de



**Figura 3. Pantalla de control de generación/movimiento/adquisición de señal.**

funcionamiento: llegada al punto de medida, emisión de señal, paso a la siguiente posición. Debajo aparece la fecha y hora del trabajo, y en la parte inferior todos los aspectos (variables) referentes a la señal emitida; nº de repeticiones, control manual o automático del proceso, el tiempo de espera entre adquisiciones sucesivas, el tiempo de pretrigger (si existe), el nivel de disparo y la extensión temporal de la presentación en pantalla. A la derecha se muestran dos pantallas; en la superior aparece la señal captada y en la inferior la señal generada. La frecuencia de muestreo se ha seleccionado con anterioridad. La última línea presenta los botones de inicio/continuación de la generación/adquisición de la señal, el número de la adquisición realizada y la activación del inicio o el final de la experiencia.

### CONTROL REMOTO DEL TANQUE VÍA INTERNET

Hoy en día la evolución tecnológica facilita el compartir los recursos relacionados con nuestro entorno de desarrollo científico. Internet ha supuesto un avance importante en el ámbito de la comunicación por lo que aprovechando las posibilidades que actualmente nos ofrece la "Red de Redes" el Instituto de Acústica ha puesto a punto la infraestructura necesaria para que a toda persona que lo desee, y vía WWW, pueda cedersele el control automático del tanque para experimentación en Acústica Submarina.

El método de trabajo es sencillo, el usuario remoto dispondrá de las mismas capacidades científico-tecnológicas que tendría si se encontrase, físicamente, en el Laboratorio de Hidroacústica del Instituto de Acústica. El usuario remoto a través de la world wide web, dispondrá de los mecanismos y facilidades básicas para contactar con el



personal responsable del Laboratorio y acordar los requisitos necesarios para llevar a buen fin las tareas experimentales. Se pretende así paliar el déficit de infraestructuras adecuadas en Acústica Subacuática y cubrir la etapa intermedia que existe entre las etapas primigenias y la experimentación en medio real.

El sistema ofrece diferentes tipos de experimentación, con el fin, de acomodarse lo más posible a las diferentes demandas de trabajo que puedan sugerir los posibles usuarios remotos del tanque hidroacústico.

**Experimentación remota sin interactividad:** El usuario remoto, tan solo, desea proponer la experiencia a realizar sin tener ningún tipo de información o control del desarrollo de la misma. El personal del Laboratorio de Hidroacústica será el encargado de realizar el trabajo solicitado por el usuario remoto. Los resultados obtenidos serán remitidos al usuario remoto según método elegido por este ( e-mail, FTP o correo ordinario ).

**Experimentación remota con interactividad:** a) Monitorización del desarrollo de la experiencia: El usuario remoto propondrá la experiencia a realizar donde indicará el modo de experimentación con interactividad (monitorización). El personal del Laboratorio de Hidroacústica se pondrá en contacto con el usuario remoto y se acordará el día y la hora del desarrollo de la experiencia. El usuario remoto podrá visualizar mediante conexión directa TCP/IP con el ordenador de adquisición de datos todo lo que este ocurriendo en el tanque para experimentación en Acústica Submarina. El Laboratorio de Hidroacústica proporciona dos visualizaciones del experimento, por una parte, una videocámara muestra, en tiempo real, los movimientos de los puentes del tanque y por otra, haciendo uso del software Net-Meeting de Microsoft ( libre distribución ) proporciona una copia, también en tiempo real, del interfaz gráfico de usuario que se encarga de la generación y adquisición de señal, figura 3, aunque el usuario remoto tan solo podrá visualizar lo que esta ocurriendo en el desarrollo de su experiencia, ya que, el control del sistema estará en manos del personal del laboratorio. b) Control total para experimentación: Al igual que en el caso anterior, el usuario propondrá la experiencia a realizar. La diferencia en este caso, radica en que, al contrario de la monitorización, en la experimentación con control total el usuario remoto dispone, por completo, del control del interfaz gráfico de usuario, pudiendo modificar cualquier parámetro de experimentación en tiempo real y posibilitando el desarrollo de experiencias con total confidencialidad, ya que, el personal del laboratorio tan solo actuará como soporte técnico en caso de que surja algún problema a lo largo del desarrollo de la experimentación. En este tipo de experimentación el usuario remoto dispondrá del control total de las instalaciones e infraestructuras de las que cuenta el laboratorio, por lo que será imprescindible que el usuario remoto conozca perfectamente la estructura del laboratorio, del sistema de control y su método de trabajo (información disponible a través de WWW).

### **Infraestructura del Laboratorio Tanque para conexiones remotas**

Cuando se desea utilizar el tanque para experimentación en acústica submarina a través de Internet se requerirán, del usuario remoto, unos mínimos requisitos técnicos para que la conexión sea viable y muy especialmente en el caso de experimentación con interactividad. El usuario remoto, al menos, deberá disponer de una conexión a Internet que soporte fluidamente velocidades de transmisión y recepción de datos equivalentes a la videoconferencia, además deberá disponer del software necesario para la conexión IP remota (Net-Meeting de Microsoft) en los casos de interactividad. Este software se distribuye de manera gratuita en el Web de Microsoft, aunque el laboratorio también puede proporcionárselo a los usuarios que lo requieran.

El Laboratorio cuenta con una conexión a Internet de alta velocidad, lo que proporciona una gran fluidez a la hora de manejar grandes paquetes de información, además dispone de una videocámara que proporciona audio y vídeo en tiempo real, con una resolución máxima para el vídeo de 352 x 288 pixels.

### **CONCLUSIONES**

La estructura experimental del Laboratorio de Hidroacústica del Instituto de Acústica, CSIC, ha sido incrementada apreciablemente. Se han secuenciado los procesos de movimiento de sensores y los de generación y adquisición



de señal. Posiblemente la aportación más novedosa ha sido la de introducir el Tanque en la red WWW para poder ser controlado remotamente desde cualquier punto del Globo, hecho que, en nuestro conocimiento, es la primera vez que se hace en instalaciones de este carácter..

#### REFERENCIAS

Ranz, C., y Cobo, P., “Underwater facility for automated experimentation and measurement”. *J.A.S.A.*, 103, 5, Pt. 2, pp: 2755. 1998.

Ranz, C., “Características Físicas de un Tanque de Experimentación en Acústica Submarina”. *Electrónica y Física Aplicada*, XII, 45, 1969, 1-5.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al PN CYTMAR y al CSIC por su financiación básica sin la que no hubiera sido posible ampliar las capacidades de las instalaciones de Hidroacústica del Instituto de Acústica.

