EL INTERCAMBIO ESTUDIANTIL COMO HERRAMIENTA DE APRENDIZAJE CULTURAL, ACADÉMICO Y TECNOLÓGICO EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ULTRASONIDO COMO TRABAJO DE GRADO EN INGENIERÍA

Jaime Alberto Mosquera Sánchez[1], Julián Antonio Villamarín Muñoz[2]

Abstract *— In this paper it will be described the development and conclusions obtained from a student exchange realized in order to receive orientation in the area of ultrasound at EESC USP-Brazil and carrying out the work of degree called "Ultrasound device for liquid recognition" as requirement to obtain Sound Engineer's title in USB-Colombia. Across the received orientations and the access to bibliographical recent sources and modern technology, it was possible to implement an ultrasound system by means of the method of transmission (two transducers) capable of classifying a liquid under study based on a microcontroller PIC and on virtual instrumentation. Finally, there will be presented brief discussions about the results obtained with the device and the impact that had the cultural exchange, development and presentation of this work so much at personal level, as well as Sound engineering personal level at USB-Colombia.*

Index Terms — Development of ultrasound device, student exchange.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación descrito en este artículo nace en la inquietud de explorar un campo de acción diferente a los ya conocidos por el Ingeniero de Sonido en Colombia: acústica, electroacústica, diseño de sistemas de sonido, control de ruido, contaminación sonora y tecnologías de la grabación. Con base en la formación teórico-práctica recibida en el aula de clase y dado que el estudio del fenómeno ultrasonoro puede ser abordado desde las bases recibidas para el análisis de las señales dentro del rango sonoro, es posible arriesgarse a indagar en una nueva área de estudio tanto así para el investigador como para el programa de formación en la Academia.

El área del ultrasonido ha sido investigada por numerosos grupos de trabajo en el mundo entero, logrando dar solución a innumerables desafíos en campos del conocimiento tales como la medicina, la industria y en los ensayos no destructivos en materiales [2]. Es así como la búsqueda de referentes teórico-prácticos se vuelca hacia la pesquisa de libros y artículos publicados a nivel mundial en donde se hayan expuesto teorías y procedimientos modernos y validados para dar solución a retos similares al trazado por la investigación, dado que a nivel local no fue posible encontrar el soporte necesario para el diseño e implementación del sistema.

Conforme el trabajo fue avanzando fueron surgiendo desafíos a superar, tales como la necesidad de equipamiento especializado para determinar los parámetros eléctricos de las cerámicas de ultrasonido a emplear en la investigación, la importación de componentes electrónicos (desde los Estados Unidos y desde el Brasil) cuyas características los harían imprescindibles para el funcionamiento adecuado del sistema, y quizás lo más importante: la orientación adecuada sobre cómo realizar la implementación de los diferentes subsistemas que compondrían al equipo de ultrasonido.

Es así como surge la búsqueda de conocimientos sobre teorías y procedimientos relativos al área de ultrasonido en otros contextos tecnológicos y sociales. Para Paulo Freire, "*el sujeto que se abre al mundo y a los otros inaugura con su gesto una relación de diálogo en que se confirma como inquietud y curiosidad, como inconclusión en permanente movimiento en la Historia*" [6].

Luiz Scitowski, en su artículo denominado "Quanto Vale uma Experiência Multicultural" realiza un comentario sobre el valor que representa un intercambio estudiantil: "Con la globalización de la economía rompiendo con todos los tipos de fronteras comerciales, la necesidad de interactuar con profesionales de diferentes culturas es, actualmente, una realidad indudable" [7]. El intercambio estudiantil es entonces, el tiquete de viaje para la reciprocidad y cooperación entre comunidades de investigación para acrecentar conocimientos, nuevas tecnologías y nuevos procedimientos aplicados a la ingeniería y la tecnología, que para el caso en específico son tópicos relativos al área del ultrasonido.

Finalmente y gracias al apoyo familiar, al apoyo académico por parte de las directivas del programa de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura – Sede Bogotá, y a la invitación por parte del Prof. Dr. Carlos Dias Maciel para hacer parte durante una temporada del "Laboratório de Instrumentação e Microeletrônica

1 Jaime Alberto Mosquera Sánchez. Estudiante de Postgrado (Maestría) en Ingeniería Eléctrica, énfasis en Procesamiento de Señales e Instrumentación. USP, Escola de Engenharia de São Carlos, Avenida Trabalhador São-Carlense 400, 13560-970. São Carlos - SP, Brasil, jamosquera@usp.br.
2 Julián Antonio Villamarín Muñoz, MSc en Bioingeniería - USP. Estudiante de Postgrado (Doctorado) en Ingeniería Eléctrica, énfasis en Sistemas Dinámicos, Escola de Engenharia de São Carlos, Avenida Trabalhador São-Carlense 400, 13560-970. São Carlos - SP, Brasil, julianvm@sel.eesc.usp.br.

(LIM)" de la "Escola de Engenharia de São Carlos (EESC–USP)", nace y se materializa la posibilidad de realizar un viaje de intercambio hacia la vecina República del Brasil.

DEL SISTEMA DESARROLLADO

El análisis de materiales mediante el ultrasonido se basa en el principio de la variación de ciertos parámetros de la señal en el medio en estudio tales como la amplitud, velocidad y fase. Así, el entendimiento de las propiedades de las señales acústicas audibles permite comprender la naturaleza y características de las ondas ultrasónicas, lográndose así proponer un sistema sonoro que tenga por finalidad la identificación de líquidos mediante ultrasonidos. A. P. Cracknell, en el libro titulado "Ultrasonidos", confirma la idea anterior con la siguiente cita breve: "Ya que un ultrasonido es, esencialmente, de la misma naturaleza que un sonido audible, su teoría de propagación es similar a la de éste" [2]

El equipo de ultrasonido desarrollado tuvo como objetivo principal la identificación de líquidos. Algunas de las características pretendidas en el dispositivo fueron: portabilidad, precisión, fidelidad de la medición, facilidad de operación y bajo costo. Bajo estas directrices se diseñó el sistema teniendo en cuenta elementos de bajo costo, con altas prestaciones y del conocimiento del investigador. Es así como se selecciona un sistema de generación de lógica de control para el transductor de ultrasonido de baja tensión de operación y de relativa simplicidad de operación, un sistema de adquisición de datos sin mayores sofisticaciones pero que cumpliera el objetivo para el cual fue diseñado y una interfaz a un PC mediante el puerto USB de forma tal que la configuración del dispositivo fuera totalmente transparente al usuario.

El desarrollo del sistema se dividió en cinco etapas, de las cuales se presenta un diagrama en bloques y que muestra la metodología seguida para la implementación. Una vez determinados los procedimientos y tecnologías necesarios para llevar a cabo cada etapa, se continúa con la selección de los dispositivos que se encargarán de cumplir las funciones pertinentes de las etapas, su implementación y verificación.

Descripción del Sistema

El sistema de emisión de ultrasonido se encuentra compuesto de una etapa de control y de una etapa de potencia. El control que se hace sobre la cerámica emisora consiste básicamente en garantizar tiempos de activación (puesta en nivel lógico alto) del orden de los nanosegundos (200ns – 800ns) en los cuales la cerámica soportará una tensión de $50V_{DC}$ sobre sus caras y que gracias a la cual podrá vibrar a su frecuencia natural de resonancia. Para conseguir los mencionados tiempos de activación, se hizo uso de tecnologías MOSFET. Se otorga un tiempo igual a 100µs de espera a la señal de ultrasonido que proviene del medio y que excitará a la cerámica receptora, tiempo en el cual el circuito de lógica estará en nivel bajo. En ese lapso de tiempo la cerámica excitadora, dado su comportamiento capacitivo, tendrá tiempo suficiente para descargarse y quedar preparada para el próximo ciclo.

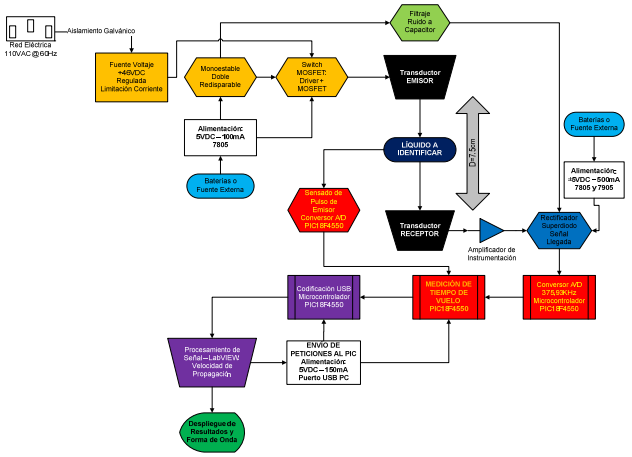

FIGURA. 1
DIAGRAMA EN BLOQUES – EQUIPO DE ULTRASONIDO PARA IDENTIFICACIÓN DE LÍQUIDOS

El sistema acústico seleccionado para la propagación de la señal de ultrasonido es el denominado como "procedimiento de transmisión" [3]. La mayor ventaja de este procedimiento es la simplificación de circuitería para la obtención del eco por cuanto en este sistema se emplean dos transductores: uno de emisión y otro de recepción. En el procedimiento conocido como "pulso – eco" es necesario un circuito que permita la mejor transferencia de tensión y potencia hacia la cerámica y que permita la mejor recepción del eco con el mismo transductor. A su vez, en virtud de las elevadas tensiones requeridas en la emisión de señales de ultrasonido se hace necesario proteger la etapa de adquisición de datos, la cual se diseña teniendo en cuenta la recepción de una señal muy débil.

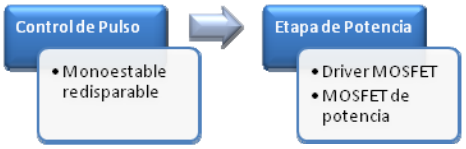

FIGURA. 2
DIAGRAMA EN BLOQUES – ETAPA DE EMISIÓN DEL SISTEMA

Sin embargo, el uso de dos transductores supone un mayor costo de desarrollo debido a que estos dispositivos tienen costos elevados; y el desarrollo de un sistema mecánico de posicionamiento de los transductores es muy complejo por causa de los efectos de difracción que cada líquido le produce a la señal de ultrasonido que se propaga en él, originando así un sistema único de posicionamiento de los transductores para cada líquido.

FIGURA. 3

DIAGRAMA EN BLOQUES – SISTEMA ACÚSTICO DE EMISIÓN - RECEPCIÓN

Para el método seleccionado, es sumamente importante asegurar que el transductor receptor se encuentre en la zona conocida como "campo lejano", lugar del espacio en donde el frente de onda o campo acústico es coherente y no presenta interferencias debido a difracciones generadas por los límites de la geometría del transductor emisor.

En las zonas del transductor donde d = r (con r: radio del transductor) se presenta un campo acústico que no posee la misma dirección que el resto del campo acústico emitido (para d y que causa interferencias las cuales, si el transductor receptor fuese ubicado en aquella zona próxima no daría lugar a una identificación correcta del eco proveniente del medio [4]. Así, es necesario seguir las siguientes relaciones:

$$\text{Diámetro Efectivo: } D = \sqrt{d\lambda} \quad (1)$$

$$\text{Campo cercano: } N = \frac{d^2-\lambda^2}{4\lambda} \approx \frac{d^2}{4\lambda} \quad (2)$$

$$\sin\gamma = 1{,}22\,\lambda/D \quad (3)$$

La revisión de la última relación anotada observa la gran direccionalidad que se alcanza cuando la frecuencia de los transductores es elevada, o lo que es igual, cuando la longitud de onda es reducida. De la relación:

$$\lambda = c/f = c \cdot T \ (T: \text{periodo}) \quad (4)$$

Se muestra que la longitud de onda depende fuertemente de la velocidad del sonido en el líquido. Así se puede comprobar de manera teórica y posteriormente se comprobará experimentalmente que no hay posibilidad de diseñar un único sistema acústico fijo para la identificación de los líquidos, si bien se debe respetar la condición del campo lejano para el transductor de recepción, hará falta un ajuste fino adicional para conseguir una focalización adecuada entre transductores con el objetivo de realizar una correcta adquisición de la información.

Una vez que la señal de ultrasonido ha sido propagada y recibida de la forma indicada en la etapa acústica, se procede a la etapa del acondicionamiento de la información, para lo cual se dispuso de una sección de amplificación y de una sección de rectificación del pulso de llegada, para garantizarle al sistema de medición que realmente el pulso de llegada ha sido recibido.

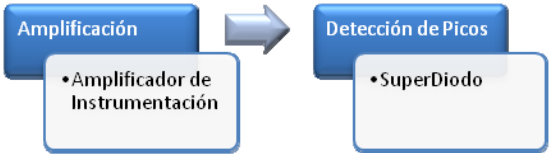

FIGURA. 4

DIAGRAMA EN BLOQUES – ADQUISICIÓN DE DATOS

Con la señal debidamente adquirida y sin ruido, se procede a realizar el cálculo del *Time of Flight*, que para el caso del sistema acústico de transmisión es de la forma:

$$d = c\,t_{of} \quad (5) \qquad [5]$$

Donde *d* es la distancia entre transductores, *c* es la velocidad de propagación, objeto de la medición y t_{of} es el *Time of Flight*. El método seguido para la medición de este tiempo de vuelo se basa en la detección del pulso de emisión y de la señal de recepción. Una vez superados determinados umbrales programados en el microcontrolador PIC seleccionado para el trabajo (18F4550) se da por cierto que se poseen las señales mencionadas. Obtenido así el tiempo transcurrido entre los dos eventos, se codifica la información y se envía vía USB hacia un software elaborado en LabVIEW para el cálculo de la ecuación (5), la comparación de la velocidad con las bases de datos programadas y el despliegue del nombre del líquido.

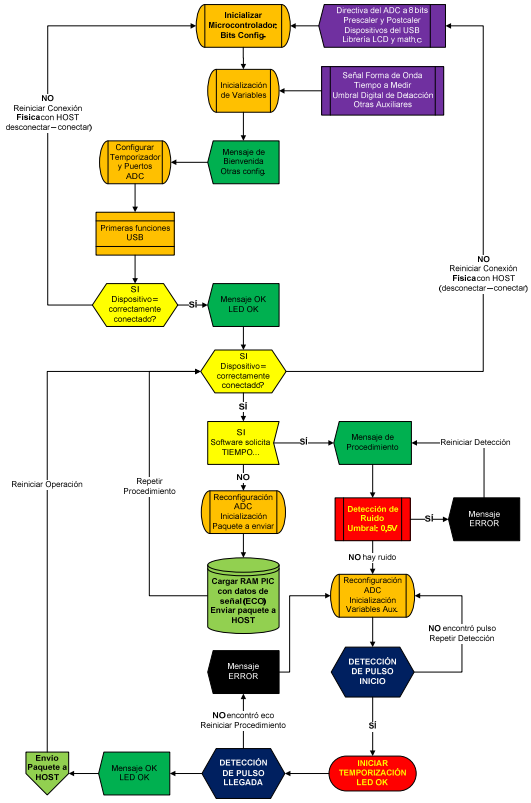

FIGURA 5

DIAGRAMA EN BLOQUES – MEDICIÓN DEL *TIME OF FLIGHT* Y ENVÍO DE INFORMACIÓN AL SOFTWARE

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos con el equipo diseñado se presentan partiendo del hecho que para la primera verificación del correcto funcionamiento del mismo se procedió a determinar el tiempo de vuelo con el equipo y con un osciloscopio digital RIGOL modelo DS1102CD, y para la segunda y última verificación se compararon las velocidades medidas con las velocidades consignadas en tablas internacionales normalizadas. Cabe anotar que todas las mediciones fueron tomadas en condiciones ambientales normales y con el sistema acústico de transductores ubicado 7,5cm un transductor del otro.

Así, se presenta una primera tabla de resultados en donde se verificó que el algoritmo de medición del tiempo de vuelo estuviera correctamente implementado.

TABLA I

COMPARACIÓN ENTRE EL TIEMPO MEDIDO POR EL SISTEMA Y EL TIEMPO MEDIDO EN EL OSCILOSCOPIO

Líquido	Tiempo Medido (µs)	Tiempo Osciloscopio (µs)	Error Relativo
Agua	50,998	50,4	**1,18%**
Agua con Azúcar	50,998 50,998	51,2 (20ml) 50 (100ml)	**0,39%** **1,99%**
Agua con Sal	50,998 49,4147	51,2 (20ml) 48 (100ml)	**0,39%** **2,94%**
Leche	50,998	50,1	**1,79%**
Alcohol Antiséptico	62,08	61,2	**1,43%**
Detergente Líquido	50,998	51,2	**0,39%**
Aceite de Cocina	52,58	53,6	**1,9%**
Promedio error relativo Osciloscopio Vs. Dispositivo			**1,37%**

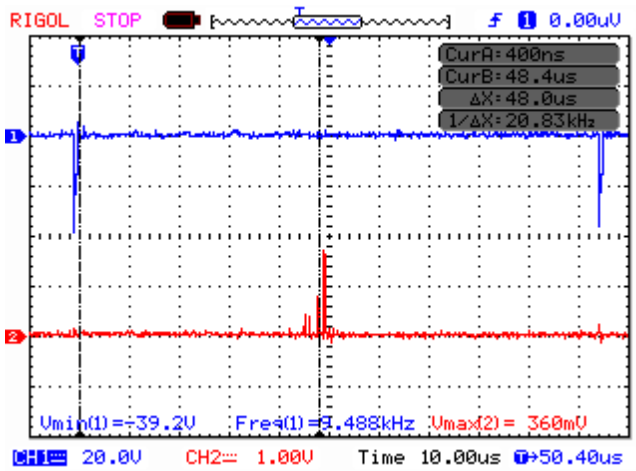

FIGURA 6

MEDICIÓN DEL TIEMPO DE VUELO EN AGUA CON CONCENTRACIÓN SALINA (IMAGEN OBTENIDA CON OSCILOSCOPIO RIGOL MOD. DS1102CD)

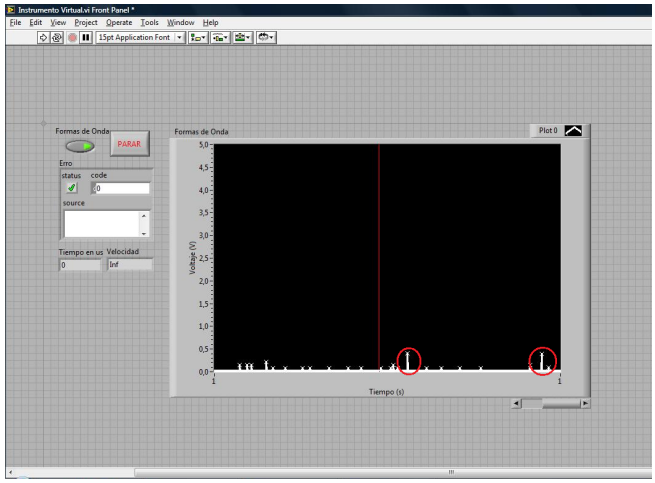

FIGURA 7

INSTRUMENTO VIRTUAL DISEÑADO (LABVIEW V. 8.5) MOSTRANDO ECO OBTENIDO DE ENSAYAR EN AGUA CON CONCENTRACIÓN SALINA

La falta de precisión observada en los resultados mostrados aquí se debe principalmente al conversor análogo – digital empleado para el desarrollo del dispositivo. En aras de implementar circuitería simple y de bajo costo, se optó por emplear el conversor AD incluido en el PIC18F4550, sin embargo y debido a su modo de operación, no fue posible alcanzar la resolución requerida para este tipo de trabajos.

TABLA II

COMPARACIÓN ENTRE EL VALOR OBTENIDO POR EL SISTEMA DE ULTRASONIDO Y LOS VALORES CONSIGNADOS EN TABLAS INTERNACIONALES DE VELOCIDADES DE PROPAGACIÓN EN MATERIALES

Líquido	Valor Medido ($^m/_s$)	Valor Tablas ($^m/_s$)	Error Relativo
Agua	1470,65	1482,7 (Water, 20°C)	**0,81%**
Agua con Azúcar	1470,65 1470,65	**********	******
Agua con Sal	1470,65 1517,77	1470 (Solución salina 10% NaCl) 1522 (Agua de mar)	**0,04%** **0,27%**
Leche	1470,65	1520	**3,24%**
Alcohol Antiséptico	1208,1	1205 (Alcohol Propanol)	**0,25%**
Detergente Líquido	1470,65	**********	******
Aceite de Cocina	1426,36	1471,6	**3,07%**
Promedio error relativo Osciloscopio Vs. Dispositivo	Promedio error Tabla Vs. Dispositivo		**1,28%**

Sin embargo, es posible realizar una diferenciación de los líquidos que fueron medidos en virtud de la velocidad de propagación del ultrasonido en ellos. Actualmente existen

algoritmos de procesamiento de señales más modernos y que exigen otras mediciones del líquido tal como atenuación y parámetros no-lineales que permitirán aproximar aún más la identificación y caracterización del líquido en análisis, pero por el desconocimiento y la falta de experiencia en el área, se diseñó el sistema enfocado a la determinación del tiempo de propagación del ultrasonido, pensando en que dicho factor fuera determinante sobre los otros.

Actualidad del Proyecto

Así, se propone un rediseño del sistema con objetivos más ambiciosos, en conjunto con el conocimiento de dispositivos y procedimientos modernos en ultrasonido y con la orientación adecuada en el tema.

Siguiendo las recomendaciones observadas del proyecto desarrollado, se han dispuesto múltiples providencias en aras de mejorar la calidad del dispositivo y extenderlo a aplicaciones de mayor envergadura. Actualmente, el proyecto ha sido profundamente modificado en cada una de sus etapas hasta el punto de re-denominarse como "Sistema de Pulso – Eco usando un Transductor tipo Annular – Array", en donde se contará con sistemas de control y procesamiento de señales de mayor capacidad tales como FPGAs y DSPs, elementos de múltiples puertas tipo MOSFET para el control del transductor multielemento; sistema que será implementado en un tanque acústico para la evaluación de transductores tipo "annular-array" y "arrays multielemento", y que ya está siendo desarrollado por el Laboratorio de Instrumentación y Microelectrónica de la Escuela de Ingeniería de Sao Carlos, en la Universidad de São Paulo, en el Brasil.

CONCLUSIONES

Gracias a la posibilidad de realizar el intercambio, fue posible desarrollar el equipo propuesto y plantear un proyecto con objetivos más grandes y con tecnologías más modernas. El conocimiento adquirido, junto con la presentación del trabajo y la entrega del texto que acompañó al trabajo enriqueció la base de datos sobre ultrasonido que reposa en la USB Bogotá y permitió el intercambio de información entre el investigador y los docentes con fines de adquirir conocimientos sobre el ultrasonido y los procedimientos empleados con señales de esa naturaleza.

En base a la experiencia vivida y al aprendizaje obtenido gracias al intercambio de conocimientos, es preciso realizar un comentario sobre la necesidad de impulsar en mayor medida la posibilidad para los estudiantes, no sólo de ingenierías sino también de todas las áreas de estudio, de conseguir intercambios estudiantiles con grupos de investigación, tanto a nivel local como a nivel mundial.

Actualmente son requeridos profesionales con conocimiento de las problemáticas actuales y con gran capacidad de solución de retos, capacidad que aumenta en la medida que el estudiante haya sido sometido a situaciones y entornos diversos, lo cual se consigue permitiendo al estudiante interactuar en modelos de vida diferentes al habitual.

El modelo de la "internacionalización hacia afuera" [1] es un paradigma que debe ser superado mediante el desarrollo de proyectos que permitan a estudiantes de otras regiones interactuar con la propia actualidad de cada región, mostrando para ellos nuevas situaciones y retos a vencer a nivel profesional y personal.

AGRADECIMIENTOS

Al Prof. Dr. Carlos Dias Maciel por su enorme colaboración y apoyo al proyecto durante el desarrollo del intercambio.

REFERENCIAS

[1] Aupetit, Sylvie. "La Internacionalización de la Educación Superior em América: Oportunidades y Desafíos". Conferencia dictada el 21 de Agosto de 2007 en el Pabellón Argentina de la Ciudad Universitaria – Universidad Nacional de Córdoba – Argentina.

[2] Cracknell, A. P. "Ultrasonidos". Madrid: Paraninfo, 1983, p. 18.

[3] Echevarría, R. "Ultrasonido". En: *Laboratorio de Ensayos No Destructivos.* [En Línea]. (2002). Disponible en < http://fain.uncoma.edu.ar/materias/ensayos_no_destructivos/Catedra_END/6-Ultrasonido/Apunte_US.pdf>

[4] González, A., González, C. E. "Ultrasonido". *Laboratorio de Ensayos Industriales*. Buenos Aires: Litenia, 1987, p. 14 – 16, 102.

[5] Navarro, D., Rios, L. H., Parra, H. "Sensores de Ultrasonido usados en Robótica para la Medición de Distancias". En: Sciencia et Technica. Año X, No. 25 (2004), p. 35.

[6] Silva, Arlete. "Uma Reflexão para a Prática Educativa em Paulo Freire". Revista Espaço Acadêmico, No. 45 - Fevereiro de 2005.

[7] Scistowski, Luiz. "Quanto vale uma Experiência Multicultural?". Disponível em < http://www.bexintercambio.com.br/artigos.cfm?artigo_id=7&titulo=Quanto-Vale-uma-Experi%C3%AAncia-Multicultural? >