

Control para mediciones Goniométricas usando Matlab-Arduino

Presso, Matías

*Instituto de Investigación en Tecnología Informática Avanzada, Universidad Nacional del
Centro de la Provincia de Buenos Aires*

Posse, Carlos

*Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones
Científicas de la Provincia de Buenos Aires*

Abstract

El presente trabajo se enfoca en el diseño de un prototipo de control para un sistema de medición automático destinado a estudiar fenómenos físicos que dependen de la posición angular en el espacio. El concepto de diseño hace énfasis en un sistema que sea versátil y flexible, con el objetivo que la herramienta propuesta sea utilizada en distintos campos. El prototipo controla el movimiento angular de un goniómetro, realiza el registro y visualización de las mediciones. Para su desarrollo se utilizó Matlab para la aplicación de usuario y como plataforma de hardware una tarjeta Arduino UNO.

Palabras Clave

Goniómetro, control, medición angular, Matlab Arduino

1. Introducción

Para establecer las características en el espacio de un fenómeno físico es necesario realizar mediciones en función de la posición angular. Existen casos donde es crítico conocer la característica espacial de un dispositivo que genera un determinado fenómeno físico. Ejemplos de esto son: una antena y su característica espacial de la radiación electromagnética (directividad), un micrófono y su directividad, o una fuente lumínica y sus propiedades de radiación. Los transductores de forma individual o en un arreglo, poseen una característica espacial de la conversión energética que realizan.

Los goniómetros son dispositivos utilizados para realizar mediciones angulares. Poseen una graduación, una estructura para sujetar la pieza de estudio y los mecanismos de

movimiento para construir ángulos (Figura 1).

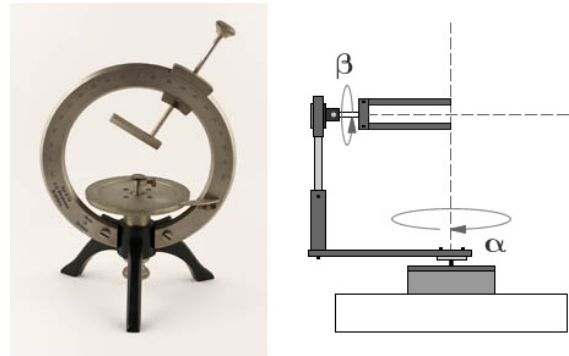


Figura 1: Goniómetros

Básicamente el procedimiento de uso de un goniómetro consta de los siguientes pasos: se realiza el montaje de una muestra que produce el fenómeno físico a estudiar, se ajusta el punto central de la muestra donde coinciden ambos ejes, luego a cierta distancia se alinea con dicho centro el punto central del sensor de lectura, se realizan los ajustes de la muestra (alimentación, excitación) y posteriormente se realizan los movimientos combinados de los ejes y se registra para cada posición la lectura de un sensor.

Dentro del esquema de la figura existen variantes de acuerdo al tipo de fenómeno que se estudie. Una variante posible es dar movimiento al sensor mientras la muestra se encuentra fija o incluso puede ser una combinación de movimientos entre el sensor y la muestra.

Otra variante que puede existir, es el tamaño de la muestra y por ende las dimensiones de la estructura del

goniómetro. Es decir, existen numerosas variantes dependiendo del fenómeno a estudiar. La motivación del presente trabajo surge precisamente a partir del análisis de uso de goniómetros en distintas aplicaciones y campos de la ciencia. En trabajos previos [1,3,4] se desarrollan sistemas de medición como soluciones particulares para aplicaciones específicas, donde se automatiza el control del movimiento y los registros de lectura. El objetivo de este trabajo en una primera instancia es proponer el diseño de un sistema de medición general, que abarque la mayor cantidad de casos particulares de medición. El concepto de diseño es el de un sistema modular dividido en bloques donde se puedan reconocer tanto las etapas comunes reutilizables o configurables y aquellas que deben intercambiarse o agregarse para una aplicación específica. Una vez propuesto el sistema general, en la segunda instancia se desarrolla un prototipo para controlar las mediciones utilizando Matlab y una tarjeta Arduino UNO. Matlab como entorno de la aplicación para el control y visualización de las mediciones, mientras que Arduino UNO se utiliza como hardware de control.

En el transcurso de este trabajo se realiza una descripción del sistema de medición, luego a partir del análisis del mismo se diseña un prototipo, posteriormente se

realizan mediciones experimentales y finalmente se obtienen los resultados y conclusiones.

2. Descripción del Sistema

En la Figura 2 se muestra una propuesta de un sistema automático de medición. Allí se incluyen los componentes y etapas que se utilizan tanto en un sistema elemental como en uno de mayor complejidad. De este modo se intenta contemplar la mayoría de las aplicaciones.

A continuación se enumeran y describen los componentes del sistema

- Aplicación Medición, administra las mediciones. Permite la carga de los ángulos para los cuales se va a realizar la medición, establece la comunicación con el sistema digital y realiza el registro de los datos medidos por los sensores.
- Sistema digital, basado en un microcontrolador, posee la función de generar las señales para el control de movimiento en función de los datos que se reciben de la comunicación que se establece con la PC.
- Adaptación de señales de control, este bloque regula los niveles de tensión y corriente para el control de motores.
- Sistema mecánico, está integrado por el goniómetro, los motores α o

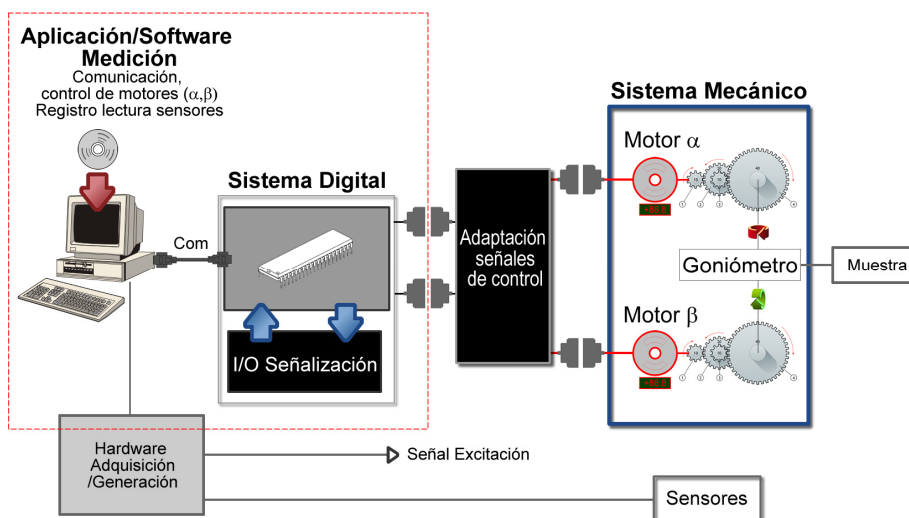


Figura 2: Sistema de medición

servomecanismos y los accesorios mecánicos que se requieran para dar movimiento y freno al goniómetro. Los parámetros de diseño del sistema mecánico a tener en cuenta son el torque, velocidad, resolución angular, que se requieren para la aplicación.

- Sensores o Transductores, convierten las variables físicas en señales eléctricas.
- Hardware Adquisición / Generación, es el dispositivo que permite manipular señales desde una computadora, como entrada o salida.

Del análisis del sistema, y del estudio de uso de goniómetros para distintas aplicaciones se concluye que algunos bloques dependen exclusivamente de la aplicación por la naturaleza del fenómeno físico a estudiar o por las características de las muestras. El sistema mecánico, los sensores, los adaptadores de señal de control, en la mayor proporción de los casos dependen de la aplicación.

En especial la aplicación/software y el sistema digital, son comunes y pueden desarrollarse de modo que sean flexibles.

3. Diseño del Prototipo

Para realizar el prototipo se utiliza Matlab como herramienta para desarrollo del software de aplicación y una tarjeta Arduino UNO para la etapa del sistema digital.

La elección de Matlab como plataforma de desarrollo, fue debido a la gran cantidad de funciones y algoritmos que posee, y a las herramientas para el desarrollo de aplicaciones con interfaz gráfica de usuario que dispone, (GUIDE). Además al ser un entorno ampliamente utilizado permite que usuarios familiarizados con la herramienta, pueden modificar, mejorar, ampliar o adaptar el código propuesto.

Arduino UNO es la plataforma de hardware elegida para este trabajo debido a que se trata de un hardware libre y su diseño es especial para un ágil desarrollo de prototipos y proyectos de electrónica

multidisciplinarios. Además Arduino y Matlab permiten una simple y dinámica integración [8,9,15] y son herramientas que han sido utilizados en desarrollo de sistemas de medición en distintas áreas [5,6,7]. Las principales características técnicas de Arduino Uno [14] se resumen en la Tabla 1.

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limited)	6-20V
Pines E/S digitales	14 (6 configurables como PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente por pin	40 mA
Corriente para pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Tabla 1: Características Técnicas Arduino UNO

Para realizar la comunicación entre Matlab y Arduino UNO se emplea una herramienta de software desarrollada por Mathworks, Arduino IO Package [15]. Se trata de un paquete que consta de dos partes (Figura 3), una interfaz de aplicación de MATLAB que corre como cliente en una computadora y un programa servidor que corre en la tarjeta Arduino. El uso de esta herramienta permite el envío de comandos a través del puerto USB.

Para su inclusión en Matlab se agrega el archivo arduino.m como ruta de comando para el entorno. Y a través del IDE de Arduino se sube el archivo adiosrv.pde a la tarjeta.

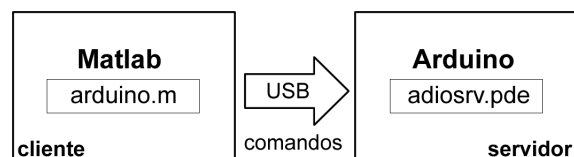


Figura 3: Archivos Arduino IO, Matlab-Arduino, cliente-servidor

Comandos de control y comunicación Matlab-Arduino

```
%-- conexión a la tarjeta
a = arduino('COM3')

%-- configuración pines
entradas/salidas
a.pinMode(6, 'input');
a.pinMode(10, 'output');

%-- lectura/escritura de datos
a.digitalRead(6) % lectura pin 6
a.digitalWrite(10,0) % escritura
pin 10

%-- entradas/salidas analógicas
a.analogRead(5) % lectura analogica
pin 5
a.analogWrite(9, 155) % escribe 155
al pin analogico 9

%-- puerto serie
a.serial % lectura puerto serie
a.flush; % descarta el buffer de
entrada de la PC

%-- control servo PWM
a.servoAttach(9); % ajuste PWM
salida pin #9
a.servoWrite(9,100); % giro de
servo en pin #9 100 grados
val=a.servoRead(9); % lee angulo
del servo en pin #9
a.servoDetach(9); % desactiva PWM
del pin #9
```

El programa de aplicación fue desarrollado usando GUIDE de Matlab. Las aplicaciones visuales de Matlab incluyen dos tipos de archivos, uno de formato .fig que contiene todos los objetos visuales y un archivo .m que contiene las líneas de programa y comandos/script que se ejecutan de forma asociada a los controles visuales del archivo .fig. Desde cualquier archivo .m se puede invocar otro archivo .m para que se ejecuten las líneas de script o se puede llamar a una función contenida en el mismo.

La aplicación (Figura 4) permite importar una matriz de ángulos para realizar la medición desde una tabla de una hoja de cálculo. Desde la interfaz visual se puede ajustar la configuración de los pines de

control de la tarjeta para un motor paso a paso o un servo.

Para los motores paso a paso se debe establecer la relación de ángulo y paso para que se realice la conversión y determinar la cantidad de pasos que deben enviarse para movimiento de los motores. Si el movimiento se realiza con servomecanismos el dato que se envía como parámetro de control es simplemente el ángulo a mover.

La aplicación esta preparada para importar un archivo .m que contenga un algoritmo para generar una señal estímulo para el proceso de medición en el caso que fuese necesario. También esta preparada para importar un archivo .m que contenga un algoritmo para procesar una señal de entrada de un sensor. Tanto para generar señales como para leer, se utilizan recursos de hardware específicos, Matlab utiliza adaptadores de hardware que permiten el traspaso de datos entre la unidad adquisidora de datos y el controlador del hardware. El paquete de adquisición de datos de Matlab provee un conjunto de adaptadores para diversos dispositivos de captura y medición [16].

Para crear un objeto de entrada analógica para el adaptador winsound de una placa de audio se ejecuta:

```
%-- creación de objeto entrada
analogica para adaptador 'winsound'
placa de audio
ai=analoginput('winsound',0);
```

O como alternativa para generar audio

```
sound(y, Fs);
%alternativa ejecuta el sonido a la
frecuencia Fs del vector y
```

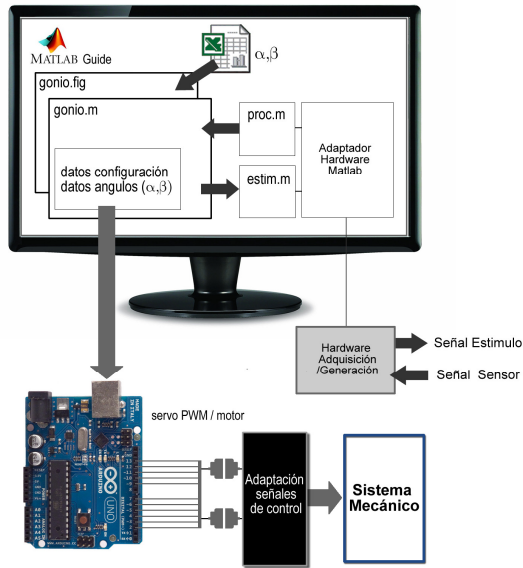


Figura 4: Diagrama Prototipo

En la figura 5 se muestra la aplicación de medición. Para realizar una medición se importa una tabla con una matriz de ángulos confeccionada en una hoja de cálculo, luego se realizan los ajustes para la configuración, puerto de comunicación con Arduino, tipo de motores para el control, el tiempo entre pasos, el tiempo de espera en cada posición, la relación angulo-pasos si se controlan motores paso a paso, y también se seleccionan los archivos de estímulo y procesamiento de señal si es necesario.

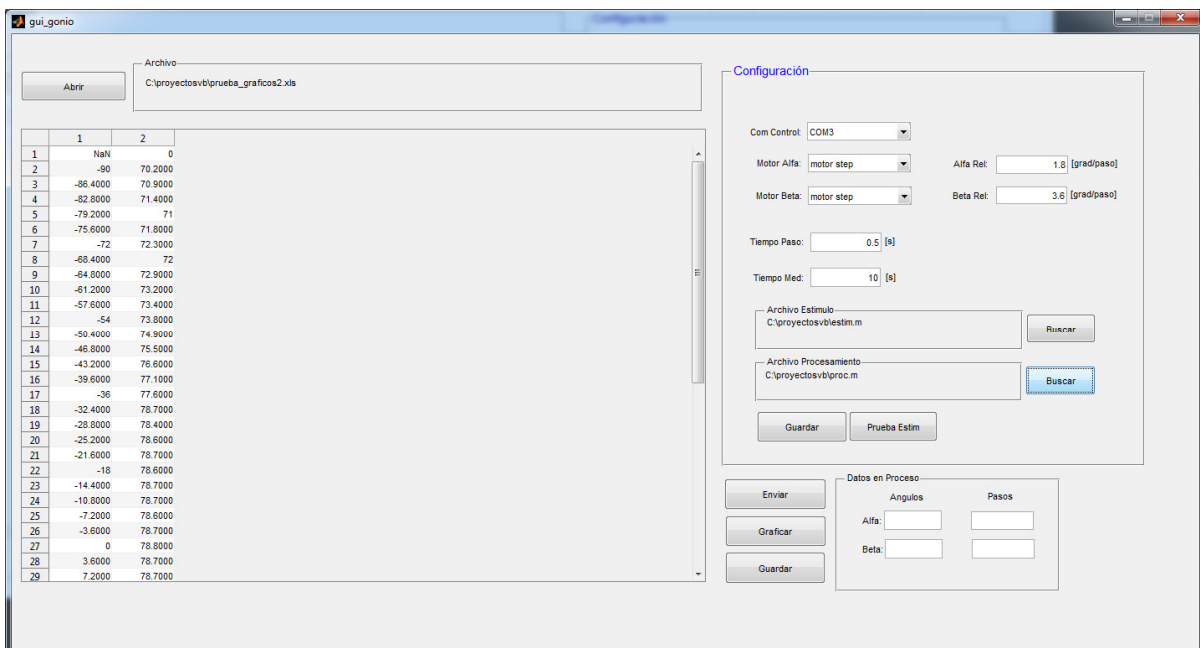


Figura 5: Aplicación del Sistema de medición

Luego se realiza el envío, y se van realizando los movimientos posición a posición haciendo un barrido de la matriz de ángulos. Para cada posición se realiza la lectura automática del sensor o bien se pueden introducir los valores de forma manual.

4. Resultados y mediciones experimentales

Se realizaron mediciones experimentales para analizar el uso y funcionamiento del prototipo de sistema.

Las mediciones se efectuaron para dos aplicaciones en distintos campos para mostrar la versatilidad del prototipo. Una medición se realizó en el campo de la acústica, donde se mide la directividad de un parlante, y una segunda aplicada a la luminotecnica donde se mide la intensidad de luz en el espacio (fotometría) de una baliza aeronáutica.

Para realizar el movimiento en las mediciones se utilizaron dos motores paso a paso de 12 V de corriente continua, con una resolución angular de $1,8^\circ$ para el eje horizontal y una resolución de $3,6^\circ$ para el eje vertical.

4.1.1 Fotometría

La muestra analizada fue una baliza aeronáutica de pista tipo L-860, con tecnología a led blanca, modelo BAE LED. Las intensidades luminosas se midieron en un banco fotométrico, utilizando como detector un cabezal fotométrico LMT tipo S-1000C. La distancia de medición fue de 2 m. Durante la medición fotométrica la baliza se alimentó con tensión continua 16,00 V. La medición fue efectuada para dos ángulos verticales de $3,6^\circ$ y $7,2^\circ$ y un barrido horizontal de 360° con un intervalo de 18° , la unidad de medición fueron candelas.

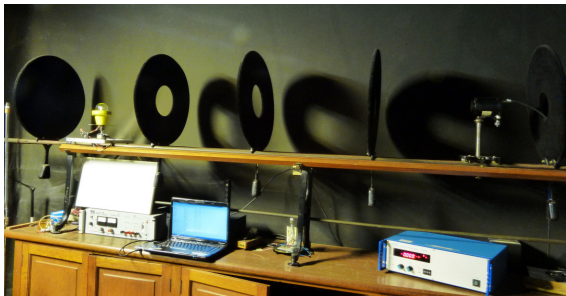


Figura 6: Banco Fotométrico

Para este caso los valores de la medición se registraron de manera manual

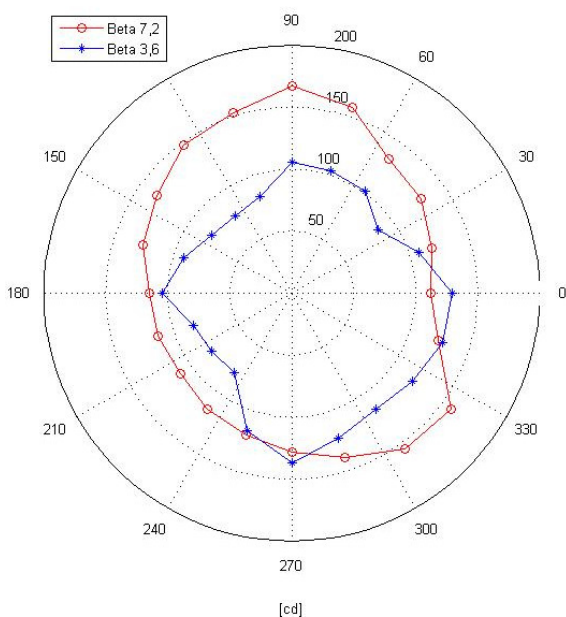


Figura 7: Fotometría

La medición arroja resultados coincidentes con el diseño de la baliza efectuado para cumplir las normas aeronáuticas [17] que establecen mínimos de intensidades luminosas para señalización de pista entre 2 y 15° .

4.1.2 Directividad

La medición fue realizada en una cámara anecoica donde no influyen las reflexiones de ondas acústicas, el instrumento de mediación fue un sonómetro Brüel & Kjær Type 2250 y la muestra fue un parlante de uso doméstico potenciado. En este caso se realizó un barrido en un único plano horizontal de 0° y un barrido de 180° con un intervalo de $3,6^\circ$. Se excitó al parlante con una onda senoidal de 1KHz y se realizó un promedio de la presión de nivel sonora durante 2 segundos. El nivel de presión sonora para cada punto se registró automáticamente en unidades de decibeles con el sonómetro ubicado a 3 metros y con su salida de línea conectada a una placa de audio de la computadora donde se ejecuta la aplicación.

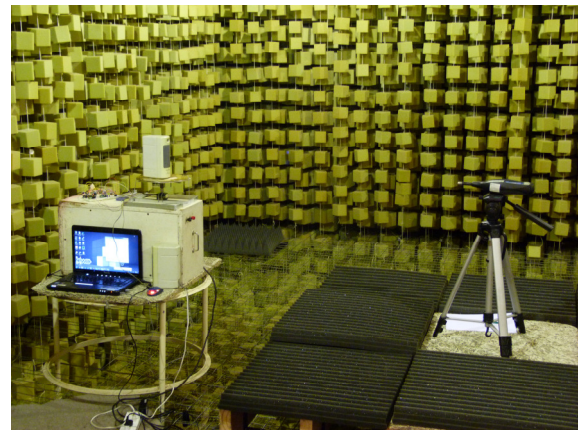


Figura 8: Medición de directividad en sala anecoica

La medición muestra resultados típicos de un altavoz para frecuencias de audio de 1 KHz.

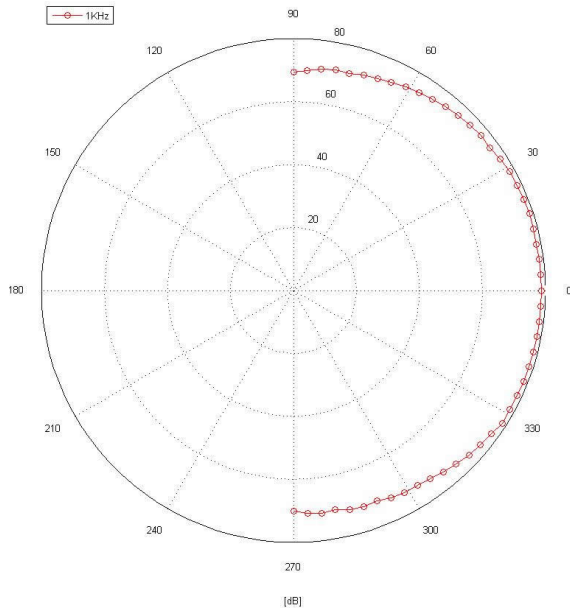


Figura 9: Directividad 1KHz

Para la excitación se utiliza estim.m, generado una señal de audio con la tarjeta de sonido.

```
Fs = 44100;
%Frecuencia de muestreo
tonoFrec = 1000;
%Frecuencia del tono excitación
nSeg = 5;
%duración del tono
y = sin(linspace(0,
nSeg*tonoFrec*2*pi,
round(nSeg*Fs)));
%generación de tono de 1KHz
sound(y, Fs);
%Ejecuta el sonido a la Fs
```

Para la grabación y registro de la señal se emplea proc.m, realizando una grabación desde la entrada de audio de la tarjeta de audio que se encuentra conectada al sonómetro.

```
recObj = audiorecorder; %
definición objeto grabación
recordblocking(recObj, 5); %
grabación durante 2 seg..
rec_vec = getaudiodata(recObj);
%resgistro de muestras
rec_vec_abs=abs(rec_vec); % valor
absoluto de señal
rec_vec_med_dB=
mean(20*log(rec_vec)); %calculo y
promedio SPL en dB
```

5. Análisis de Resultados

El diseño del prototipo y las mediciones realizadas con el mismo, muestran la posibilidad de generalizar el uso del prototipo para múltiples aplicaciones. Posee la flexibilidad para que se pueden estudiar distintos fenómenos físicos como los citados en [1,3,4]. Desde la aplicación y el hardware del prototipo se pueden manejar libremente la precisión de la resolución angular. Sin embargo el sistema mecánico debe diseñarse para cumplir con la resolución que requiera la aplicación específica, incluso puede realizarse un análisis de su desempeño y un exhaustivo análisis de errores como el que se efectúa en [2] para poder acotar las mediciones que se realicen con el sistema.

6. Conclusión

La contribución del trabajo es el desarrollo de una herramienta flexible y versátil para realizar mediciones dependientes de la posición angular. El enfoque del diseño contempla la extensión de su uso y la inclusión de algoritmos para adaptarlo a diversas aplicaciones específicas. A su vez se corrobora la agilidad que permite el uso de Matlab y Arduino para el desarrollo de prototipos. Finalmente las mediciones experimentales muestran un correcto desempeño para el manejo de los datos de medición y resultados, a su vez demuestran que la robustez y exactitud de un sistema de medición específico depende significativamente del diseño del sistema mecánico.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la CIC PBA, donde M. Presso y C. Posse pertenecen a la carrera de Profesional de Apoyo a la Investigación.

Referencias

- [1] Coburn, C. A., and D. R. Peddle. "A low-cost field and laboratory goniometer system for estimating hyperspectral bidirectional reflectance." *Canadian Journal of Remote Sensing* 32.3 (2006): 244-253.
- [2] Fiorentin, P. ; Scroccaro, A. "Analysis of the Performance of a Goniometer for Studying Surface Reflection" *Instrumentation and*

Measurement, IEEE Transactions on, Volume:57, Issue: 11, 2008 , Page(s): 2522 - 2527

[3] Dangel, Stefan, et al. "Combined field and laboratory goniometer system-FIGOS and LAGOS." Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International. Vol. 7. IEEE, 2003.

[4] Donno, M. ; Palange, Elia ; Di Nicola, F. ; Bucci, G. ; Ciancetta, F. "A new flexible optical fiber goniometer for dynamic angular measurements: application to human joint movement monitoring." Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on 57.8 (2008): 1614-1620.

[5] Schubert, Thomas W., Alessandro D'Ausilio, and Rosario Canto. "Using Arduino microcontroller boards to measure response latencies." Behavior research methods (2013): 1-15.

[6] D'Ausilio, Alessandro. "Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment." Behavior research methods 44.2 (2012): 305-313.

[7] Teikari, Petteri, et al. "An inexpensive Arduino-based LED stimulator system for vision research." Journal of Neuroscience Methods (2012).

[8] Al-Busaidi, Asiya M. "Development of an educational environment for online control of a biped robot using MATLAB and Arduino." Mechatronics (MECATRONICS), 2012 9th France-Japan & 7th Europe-Asia Congress on and Research and Education in Mechatronics (REM), 2012 13th Int'l Workshop on. IEEE, 2012.

[9] Manoiu-Olaru, S., and M. Nitulescu. "Hexapod robot. Virtual models for preliminary studies." System Theory, Control, and Computing (ICSTCC), 2011 15th International Conference on. IEEE, 2011.

[10] Gartsev, Ilya B., Leng-Feng Lee, and Venkat N. Krovi. "A Low-Cost Real-Time Mobile Robot Platform (ArEduBot) to support (REM), 2012 13th Int'l Workshop on. IEEE, 2012.

[9] Manoiu-Olaru, S., and M. Nitulescu. "Hexapod robot. Virtual models for preliminary studies." System Theory, Control, and Computing (ICSTCC), 2011 15th International Conference on. IEEE, 2011.

[10] Gartsev, Ilya B., Leng-Feng Lee, and Venkat N. Krovi. "A Low-Cost Real-Time Mobile Robot Platform (ArEduBot) to support Project-Based Learning in Robotics & Mechatronics." Proceedings of 2nd International Conference on Robotics in Education (RiE 2011), R. Stelzer and K. Jafarmadar, Eds. INNOC Austrian Society for Innovative Computer Sciences. 2011.

[11] Schopfer, Jürg, et al. "The improved dual-view field goniometer system FIGOS." Sensors 8.8 (2008): 5120-5140.

[12] Hueni, Andreas, et al. "Visualisation, processing and storage of spectrodirectional data based on the spectral database SPECCHIO." Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009. Vol. 1. IEEE, 2009.

[13] Zia, Aneeq. "Polar and polygon path traversal of a ball and plate system." Electrical and Control Engineering (ICECE), 2011 International Conference on. IEEE, 2011.

[14] <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

[15] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/32374-matlab-support-package-for-arduino-aka-arduinoio-package>

[16] <https://www.mathworks.com/products/daq/supported/data-acquisition-cards-and-boards.html>

[17] Specification For Runway And Taxiway Light Fixtures, AC 150/5345-46D.