

# **DISPOSITIVO MEDIDOR DE FUERZA DE AGARRE DE LOS DÍGITOS DE LA MANO HUMANA CON RETORNO POR TRANSDUCCIÓN ACÚSTICA**

*GRIP STRENGTH MEASURER DEVICE OF THE DIGITS OF THE HUMAN HAND WITH FEEDBACK BY ACOUSTIC TRANSDUCTION*

***Itzayana Duarte Rabelo***

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, CICATA-QRO-IPN  
*Itzi.duarte.r@gmail.com*

***Eduardo Morales Sánchez***

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, CICATA-QRO-IPN  
*emoraless@ipn.mx*

## **Resumen**

En este trabajo se reporta la construcción de un dispositivo inalámbrico capaz de medir la fuerza de agarre de los dedos de la mano humana, enviando un estímulo auditivo al usuario para la interpretación de la fuerza aplicada. El dispositivo consta de un guante sintético con un arreglo de cinco sensores de fuerza piezo-resistivo ubicados en las falanges distales. La calibración de los sensores se realizó utilizando un analizador de texturas, mediante el cual se aplicaba una fuerza conocida sobre el sensor y se obtenía la relación entre voltaje y fuerza. La fuerza medida por los 5 sensores se promedió y se obtuvieron cuatro rangos de fuerza que se relacionaron con distintas frecuencias audibles, fácilmente distinguibles por el usuario. Se desarrolló un módulo de comunicación Bluetooth BT al dispositivo medidor convirtiéndolo en un dispositivo inalámbrico portátil y de fácil manejo. Utilizando la comunicación BT se desarrollaron 2 interfaces para el dispositivo medidor de fuerza: Un instrumento virtual que recibe los valores de fuerza por BT y los grafica en pantalla y otra creada para una aplicación en Tablet, en la cual se grafica la fuerza para cada sensor. El resultado es un dispositivo inalámbrico medidor de fuerza de agarre de los dedos de la mano humana con retorno auditivo.

**Palabra(s) Clave:** Acústico, App Android, Bluetooth, Fuerza, Instrumento Virtual.

## **Abstract**

*In this work we report the construction of a Wireless device capable of measuring the grip strength of the fingers of the human hand, sending an acoustic stimulus to the user for the interpretation of the applied force. The device consists of a synthetic glove with an array of five piezo-resistive sensors located in the distal phalanxes. The calibration of the sensors was done using a texture analyzer, by which a known force was applied to the sensor and the relation between voltage and force was obtained. The force measured by the sensors was averaged and four strength ranges were obtained that were related to different audible frequencies, easily distinguishable by the user. A Bluetooth (BT) communication module was developed to the measuring device, converting it into a portable wireless device, easy to use. Using BT communication, 2 interfaces were designed: A virtual instrument that receives the force values by BT and graph them on a PC and another interface created for Tablets in which the force is plotted for each sensor. The result is a wireless grip strength device for the fingers of the human hand with acoustic feedback.*

**Keywords:** *Acoustic, Android Application, Bluetooth, Force, Virtual Instrument.*

## **1. Introducción**

La mano gracias a su compleja estructura anatómica (Morro Martí, Llusá Pérez, Carrera Burgaya, Forcada Calvet, & Mustafa Gondolbleu, 2015) nos permite realizar tareas de manipulación, prensión y sujeción de objetos de diversas dimensiones. Para realizar este tipo de tareas la mano debe adaptarse y posicionarse al objeto en cuestión formando arcos importantes como lo son el transverso, longitudinal y oblicuo (López, 2012). Sin estas formas de adaptación de la mano el agarre sería imposible. En la literatura son definidos dos tipos de agarre: agarre de fuerza y agarre de precisión (J.Napier, 1956). En el agarre de fuerza la palma se ve más involucrada que en los agarres de precisión en donde la fuerza se aplica en las falanges distales en su mayoría y el apoyo de objetos se hace usando también los laterales del dígito índice, medio y anular.

La medición de la fuerza de agarre no es algo reciente, sin embargo, la forma en que se mide ha ido evolucionando con el tiempo. Efectuar la medición de la fuerza resulta ser de gran relevancia ya que nos permite conocer la fuerza requerida para realizar tareas de agarre, prensión o sujeción. Existen dispositivos que han sido diseñados precisamente para este propósito, comenzando por el dinamómetro diseñado por Leonardo Da Vinci en el siglo XV. En años recientes comenzaron a comercializarse los dinamómetros digitales para medir la fuerza total de agarre de la mano, medidores de fuerza de precisión y otros dispositivos más sofisticados que hacen uso de sensores ya sean capacitivos o resistivos para realizar la medición de distintos tipos de agarre. Finger TPS, es un dispositivo que hace uso de 8 sensores capacitivos, 5 ubicados en las falanges distales de la mano, 1 sensor en la palma y 2 ubicados en las proximales del dedo medio e índice. El envío de información de este dispositivo es mediante conexión USB o Wireless a un ordenador. Sensor Grip, por el contrario, se compone de 349 elementos sensores de efecto piezoresistivo que se ubican en toda el área de la mano. Este dispositivo puede adherirse a la piel directamente o sobre algún tipo de protector textil (Pérez González, Jurado Tovar, & Sancho Bru). Otros ejemplos son los desarrollados por personal de la Universidad Distrital de Caldas en el año 2017. El primer dispositivo hace uso de un sensor piezoresistivo que mide la fuerza de los dedos en las falanges distales y como accesorio cuenta con una férula posicional para el descanso fisiológico de la mano. El retorno de la fuerza al usuario es visual por medio de leds y una pantalla que indican el nivel de fuerza medido y un transductor auditivo solo para indicar el nivel máximo de fuerza (Camargo Casallas, Camargo Casallas, & Villamil Matallana, 2017). El segundo dispositivo desarrollado por esta universidad hace uso de 5 sensores de efecto piezoresistivo y una interfaz de usuario para seleccionar el modo de adquisición: lectura selectiva o lectura simultánea. La visualización de la información se hace a través de una pantalla LCD (Camargo Casallas, Pinzón O., & Flórez D., 2017). Un último dispositivo tomado como ejemplo es el desarrollado por alumnos de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (Ortegón, y otros, 2015), el cual hace uso de sensores resistivos hechos con poliuretano conductor y se adaptan a dedales

conectados por cable flexible al circuito eléctrico. Este dispositivo adquiere datos a través de dos microcontroladores y solamente tiene retorno visual por una interfaz gráfica.

Con la descripción anterior, se puede notar que el único retorno que existe al usuario para que el conozca la fuerza que aplica es un retorno visual por computadora, pantallas LCD en el caso de los más sofisticados o por barras de Led. Es por esta razón, que se propone la construcción de un dispositivo inalámbrico medidor de fuerza de agarre de los dígitos de la mano humana con retorno por transducción acústica, de esta forma el usuario podrá interpretar fácilmente mediante distintas frecuencias audibles la fuerza que aplica con su mano. En casos donde el usuario haga uso de una prótesis, el dispositivo medidor de fuerza le permitirá conocer la fuerza aplicada por medio de la señal auditiva proporcional a la fuerza aplicada. En el caso de una terapia de rehabilitación el dispositivo permitirá al usuario aplicar un mismo rango de fuerza basándose en la señal auditiva.

## **2. Métodos**

Se utilizaron sensores piezo-resistivos, los cuales cambian su valor de resistencia proporcionalmente al valor de la fuerza aplicada. Los sensores hacen uso de un divisor de tensión a 5 V para su funcionamiento, el fabricante sugiere utilizar una resistencia de 3.3 k $\Omega$  como parte del divisor, la otra resistencia es el sensor. Para la calibración de los sensores se utilizó un analizador de texturas, con el cual se aplicó una fuerza conocida dentro de un rango de 10 a 70 N sobre el área activa del sensor. Se tomaron 5 muestras por cada 10 unidades de fuerza con un tiempo de espera de 10 segundos entre cada medición. Se tomaron los valores de voltaje en relación con la fuerza aplicada y se realizó una aproximación polinómica para describir el comportamiento del sensor. Posterior a la obtención del polinomio, se determinó la función inversa que explica la relación de la fuerza con el voltaje. En el código del microcontrolador se establece la lectura analógica de los sensores y posteriormente se convierte a voltaje para poder aplicar el

polinomio resultante de la obtención de la función inversa. Una vez programada la ecuación el resultado será una medición de fuerza en un rango de 10 a 70 N.

Para establecer una relación de la fuerza aplicada con el transductor auditivo, las fuerzas se promedian y se toman 4 rangos. A cada uno de estos rangos de fuerza se le asigna una frecuencia que se encuentre dentro del espectro audible. Cuando la medición entre en alguno de los rangos propuestos se escuchará un tono el cual le ayudará al usuario a interpretar la fuerza que se está midiendo. El tono tiene una duración de 1s encendido y 1s apagado.

Se utilizó una plataforma *Arduino NANO* para la implementación del medidor de fuerza de agarre de los dedos dígitos de la mano humana (figura 1). La función que se utiliza para la generación del tono audible es `TONE ()`.

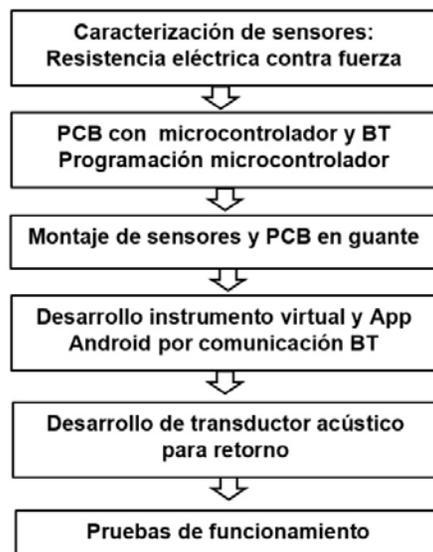


Figura 1 Diagrama de flujo de metodología experimental empleada.

Para garantizar que el dispositivo medidor de fuerza sea totalmente portátil se adaptó al *Arduino NANO* un módulo Bluetooth BT con comunicación serial por medio de la cual se comunica el dispositivo medidor a una PC o a una Tablet. La conexión del Bluetooth se hace de forma cruzada RX-TX y TX-RX, y se configura el dispositivo en modo esclavo mediante el uso de comandos AT. La velocidad de transmisión se configura a 115200 baudios permitiendo un rápido envío y recepción de datos.

También se incorporó una batería LiPO de 3.7 V a 600 mA con un convertidor CD-CD tipo elevador de 6 V de salida acoplado para elevar y fijar la tensión de salida a 6 V. Los sensores de fuerza por cada dígito se colocaron en un guante y los circuitos se colocaron en una caja en la parte superior del guante. Para el desarrollo del presente dispositivo se siguió la metodología experimental que se muestra en la figura 1.

### 3. Resultados

Se construyó un dispositivo inalámbrico capaz de medir fuerza de agarre de los dedos de la mano humana en un rango de 10 a 70 N y que además cuenta con retorno por transducción auditiva. Primeramente, se procedió a calibrar los sensores de fuerza y a obtener su relación Fuerza vs Voltaje. La figura 2 muestra la curva de Fuerza (N) vs Voltaje (V) obtenida.

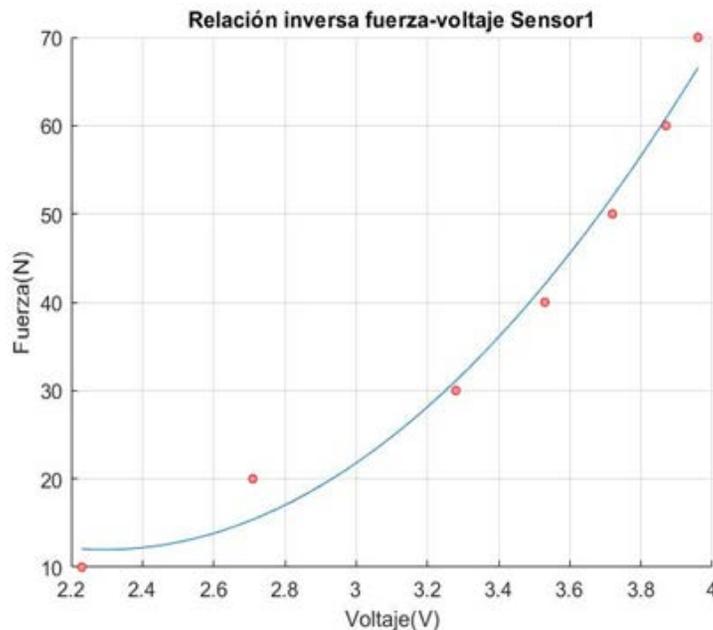


Figura 2 Curva de caracterización de sensor del dedo índice.

A continuación, se realizó el ajuste de la curva a un polinomio. La ecuación 1 muestra la ecuación característica obtenida.

$$F = 19.66 V^2 - 90.19 V + 115.42 \quad (1)$$

Esta relación matemática es la que se programa en el microcontrolador para obtener el valor de la fuerza a partir del voltaje que se mide en los pines analógicos. Posteriormente, se desarrolló un PCB que contiene los circuitos acondicionadores de los 5 sensores y su conexión al microcontrolador junto con el BT. La figura 3 muestra el diagrama esquemático de los 5 sensores, microcontrolador y BT.

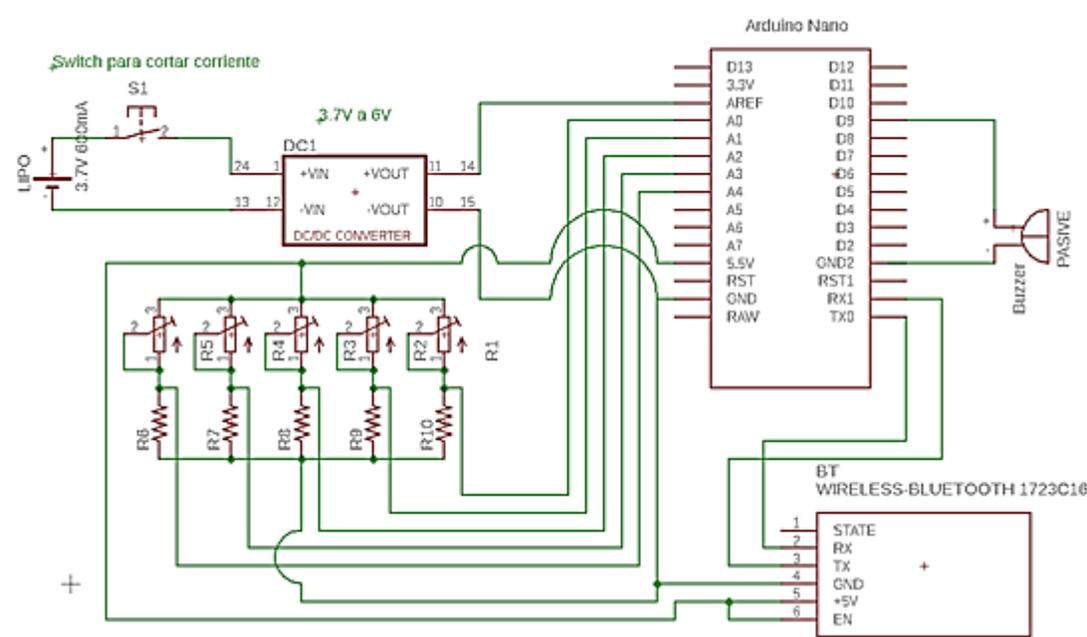


Figura 3 Diagrama esquemático del sistema de adquisición propuesto.

La conexión del transductor se realiza de forma directa al pin digital de microcontrolador sin necesidad de colocar etapa de potencia. El convertidor CD-CD para elevar voltaje es completamente requerido ya que los sensores están caracterizados con un nivel de voltaje de alimentación de 5 V.

Una vez montado el circuito anterior en PCB se cubrió por una caja impresa en 3D con plástico PLA en la parte superior del guante contenedor de los sensores de fuerza. En la figura 4 se observa el guante con los sensores colocados en los dedos y la caja del PCB con el BT colocado en la parte superior del guante. En la figura 4 se muestra el dispositivo desarrollado, incluyendo la etapa de alimentación, circuito eléctrico y el transductor.



Figura 4 Dispositivo medidor de fuerza construido.

Cuando se establece comunicación con la PC de forma inalámbrica se obtienen en NI-LabVIEW los valores de fuerza aplicada por cada uno de los dedos de la mano, tanto de forma gráfica como en de forma numérica. De igual forma el instrumento virtual tiene la virtud de generar un archivo con extensión .xlsx donde se registran los valores de fuerza por dedo. El instrumento puede ejecutarse en dos modos: manual y automático. En modo automático la lectura de los cinco sensores se hace al mismo tiempo, en el modo manual el usuario puede elegir mediante botones cual es el sensor que le desea monitorear. La fuerza puede ser vista de forma individual o promediada. En la figura 5 puede observarse el instrumento virtual desarrollado con un ejemplo de la medición de la fuerza en el dedo índice. Como podrá observarse la medición resultante es cercana a los 60 N. Esta medición cabe aclarar se hace ejerciendo fuerza sobre una superficie rígida y considerando solo el aplicar la fuerza con el dedo no interviniendo así un peso extra.

Además de un instrumento virtual para adquisición de datos, se cuenta con una aplicación Android capaz de graficar e indicar numéricamente la fuerza adquirida por los sensores en unidades de Newtons. En la figura 6 puede observarse la imagen de esta aplicación en ejecución.

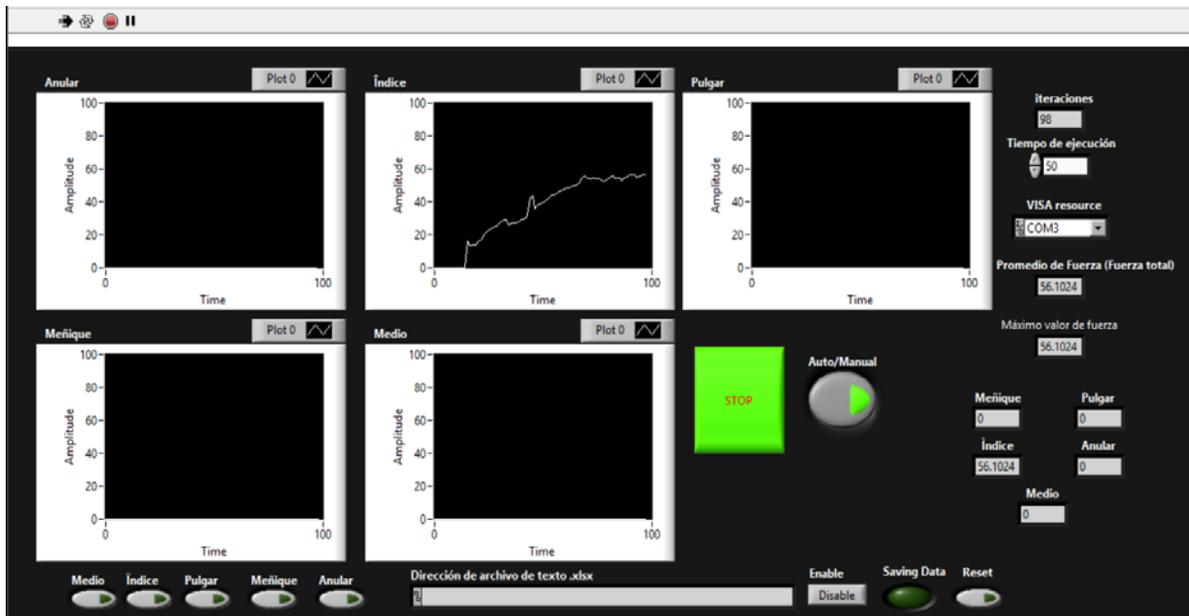


Figura 5 Instrumento virtual desarrollado en LabVIEW.

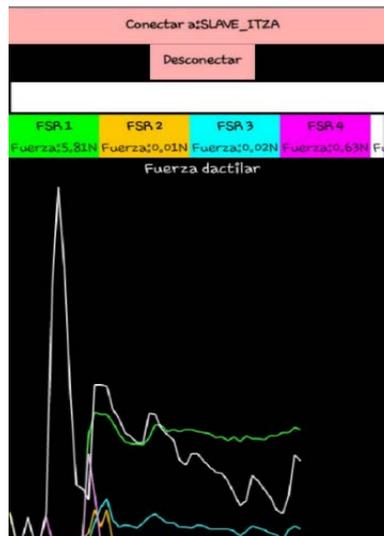


Figura 6 Aplicación Android en ejecución.

La aplicación para tabletas permite que el dispositivo sea más portable, no teniendo así la necesidad de usar una computadora portátil. Esta aplicación se realizó en plataforma App Inventor 2 utilizando programación a bloques. La aplicación muestra en tiempo real las mediciones de la fuerza obtenida de forma individual en indicadores y en una sola grafica muestra el comportamiento de los cinco sensores.

## **Retorno acústico de fuerza de agarre**

Una vez construido y probado el dispositivo en la parte de sensado de fuerza se procedió a construir una interface acústica que convierta el valor de fuerza en señal acústica. Se utilizó un transductor de audio con piezoeléctrico (Buzzer) controlado por un pin del microcontrolador. La tabla 1 muestra los rangos de fuerza asociados a las frecuencias audibles propuestas.

Tabla 1 Frecuencias asociadas a rangos de fuerza.

Rango de Fuerza (N)	Frecuencia Fundamental (piano)	Nota Musical
10-20	523.251	Do <sub>4</sub>
22-35	783.991	Sol <sub>4</sub>
36-50	1174.66	Re <sub>5</sub>
51-70	1567.98	Sol <sub>5</sub>

Por lo tanto, el dispositivo construido además de visualizar el valor de la fuerza también es capaz de emitir frecuencias de audio. Esta característica permite que el dispositivo construido pueda ser utilizado en aplicaciones de rehabilitación ortopédica.

## **4. Discusión**

El dispositivo construido es capaz de establecer comunicación inalámbrica para envío de datos de fuerza de los dígitos de la mano humana tanto para una PC como para una Tablet. El rango de fuerza medible por el arreglo de los sensores es de 10 a 70 N.

El dispositivo construido es utilizado por personas que tengan un sano sistema auditivo y visual, y que requieran medir fuerza de agarre de los dígitos de la mano humana. El retorno auditivo dará la ventaja al usuario de no necesitar ningún otro dispositivo móvil para observar la medición, sino que simplemente la interpretará para controlar la fuerza con la que sostiene objetos para no causar daños permanentes. Las posibles aplicaciones de este dispositivo van desde su uso en rehabilitación ortopédica, en aplicaciones para juegos virtuales, en deportes para medir el desempeño del deportista y en prótesis de miembro superior o en cualquier otra aplicación donde sea indispensable la medición de fuerza.

## **5. Bibliografía y Referencias**

- [1] Camargo Casallas, L. H., Pinzón O., O. A., & Flórez D., DF (2017). Dispositivo electrónico para medición de fuerza en las falanges distales. *Lámpsakos* (18), 28-33.
- [2] J.Napier. (1956). The prehensile movements of the human hand. *The journal of bone and joint surgery*, 38B (4), 902.
- [3] López, L. A. (2012). Biomecánica y patrones funcionales de la mano. *Morfología*, 4(1), 15-24.
- [4] Morro Martí, M. R., Llusá Pérez, M., Carrera Burgaya, A., Forcada Calvet, P., & Mustafa Gondolbleu, A. (2015). Anatomía aplicada a los tendones flexores. *Revista iberoamericana de cirugía de la mano, Elsevier*, 2(43), 128-134.
- [5] Ortegón, I., Alba Baena, N., Martínez, E., Ñeco Caberta, R., Quezada Carreón, A., & Salazar Álvarez, M. C. (2015). Prototipo inalámbrico para medición de la fuerza de la mano. *CUCyT*, 1(57), 107-115.
- [6] Pérez González, A., Jurado Tovar, M., & Sancho Bru, J. L. (s.f.). Fuerzas de contacto entre mano y objeto en el agarre cilíndrico: comparación de dos técnicas de medición. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. Asociación Española de Ingeniería Mecánica.