

# Dispositivo electrónico de captura de movimiento del pie<sup>1</sup>

## RESUMEN

Se describe el proceso de elaboración de un dispositivo de captura de los movimientos de abducción, aducción, flexión y extensión del pie. Su captura usa software y hardware previamente diseñados con el fin de adquirir los datos provenientes de los sensores en tiempo real, adecuándolos a un entorno en tercera dimensión. Se lleva a cabo el diseño de sensores que aplican nuevas tecnologías, como la fibra óptica, que presenta ventajas gracias a su alcance y rápida respuesta a señales luminosas, facilitando el diseño de un sistema ergonómico que no requiere de gran complejidad en su construcción. La visualización se realiza creando un ambiente en 3D.

**Palabras clave:** Led infrarrojos, fibra óptica, realidad virtual, sensores de proximidad, movimiento de extensión, flexión, abducción y aducción del pie, comunicación por USB CDC (*Communications Devices Class*), conversor A/D, modelamiento, señal análoga, señal digital, interfaz, OPENGL, 3DMax, *driver*, módulos inalámbricos.

### Autores

Mayra Alejandra Jiménez Villanueva<sup>2</sup>

Lely A. Luengas Contreras<sup>3</sup>

Diana Carolina Ortiz Casallas<sup>4</sup>

1 Proyecto curricular de Tecnología en Electrónica.

2 Tecnóloga en Electrónica, Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Investigador grupo Metis. Correo electrónico: majime\_88@hotmail.com

3 Tecnóloga en Electrónica, Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Investigador grupo Metis. Correo electrónico: lalengasc@udistrital.edu.co

4 Tecnóloga en Electrónica, Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Investigador grupo Metis. Correo electrónico: dianacarolina2308@hotmail.com

## 1. Introducción

Dado el constante cambio tecnológico que se tiene en Colombia y la creciente necesidad de nuevas tecnologías, se busca diseñar y fabricar dispositivos enfocados en la realidad virtual, ya que la mayor parte de los que existen en el mercado actualmente no son accesibles a todos los usuarios, por su alto costo. Es por tal razón que el Grupo de Investigación Metis de la Facultad Tecnológica, en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia), plantea la elaboración de un dispositivo que pueda capturar los movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción del pie con el fin de implementarlo en realidad virtual. Se realiza, entonces, una investigación de tecnologías y tipos de sensores utilizados en captura de movimiento y se estructura el proyecto en

cuatro etapas: en la primera se da una solución al problema planteado, diseñando un sensor que se basa en la implementación de diodos infrarrojos (emisor, receptor) que transmiten el haz de luz a través de fibra óptica y producen una variación de voltaje a partir de un ángulo o distancia específica; la segunda etapa consta de una comunicación serial con el fin de transmitir los datos capturados al PC de manera codificada, haciendo uso de un conversor análogo digital que permita el posterior tratamiento de las señales; en la tercera etapa se implementa una interfaz gráfica en 3D en la cual se pueden ver los movimientos de la articulación en tiempo real; finalmente, la cuarta etapa consta de las pruebas realizadas entre el dispositivo y el software.

## 2. Investigación de tecnologías y tipo de sensores utilizados en captura de movimiento

Teniendo en cuenta el amplio campo de acción de la realidad virtual, se han creado dispositivos tales como exoesqueletos, cascos, guantes, lentes virtuales, entre otros, que permiten al usuario interactuar consigo mismo en un ambiente tridimensional. Por otro lado, existen diferentes clases de sensores, algunos con mayor grado de complejidad que otros, enfocados generalmente a la captura de movimiento. Entre ellos se encuentran:

- *Potenciómetros*: Pueden utilizarse para medidas de desplazamiento, variando de manera lineal. El término lineal significa que un movimiento mecánico dado produce un cambio dado en la resistencia, sin importar dónde se encuentre el contacto. En otras palabras, la resistencia del elemento está igualmente distribuida a lo largo de su longitud [1].
- *Galga extensométrica*: Sensor para medir deformaciones basadas en la variación de la resistencia eléctrica con respecto a la deformación aplicada en un hilo conductor calibrado, o en resistencias construidas con pistas de semiconductor [2].
- *Fibra óptica*: Es una diminuta varilla que bien puede ser de vidrio o de plástico con un gran índice de re-

fracción, mediante la cual se transmiten haces de luz que previamente modulados, transmiten información de un punto a otro con una calidad de comunicación excelente [3].

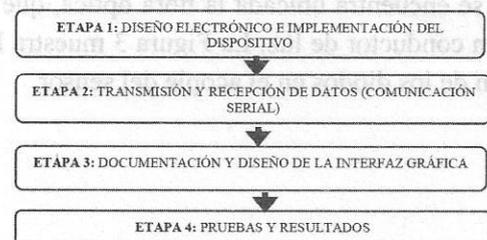
Las fibras ópticas poseen enorme capacidad de transmisión, del orden de miles de millones de bits por segundo [4], esto debido al ancho de banda disponible en frecuencias ópticas, a la inmunidad a transmisiones cruzadas entre cables causadas por inducción magnética, a la inmunidad a interferencia estática por fuentes de ruido y a la resistencia a extremos ambientales. Así mismo, se afectan menos que otras ante líquidos corrosivos, gases y variaciones de temperatura, y permiten supresión de ruidos en las transmisiones, dan alta confiabilidad, con posibilidad de daño casi nula, en tiempos de respuesta mínimos en la reparación de daños.

La fibra óptica requiere acoples, además de un emisor y un receptor especiales. En el emisor se hace uso de *led* de dos tipos básicos: de *emisión de superficie* y de *emisión de borde* [5]. Para los primeros, su área activa productiva de luz está definida por una superficie de contacto óxido-metal aislado, y la luz se emite perpendicularmente al plano de la unión a través de la superficie. En el *led* de emisión de bordes (*eled*), la luz se emite en el plano de la unión, con lo que la absorción es mínima.

## 3. Desarrollo del dispositivo

Para el desarrollo del dispositivo electrónico de captura de movimiento del pie se estructuraron cuatro etapas que facilitan su diseño, construcción e implementación; la Figura 1 lo muestra.

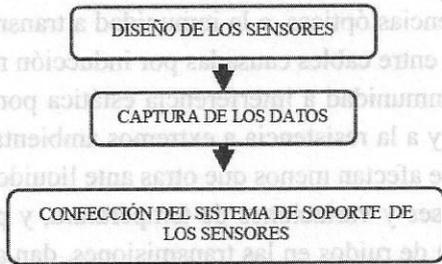
Figura 1. Bloques de ejecución para desarrollo del proyecto.



### 3.1 Etapa 1: Diseño electrónico e implementación del dispositivo

El diagrama de bloques de la Figura 2 describe el proceso para el diseño y fabricación del dispositivo.

Figura 2. Diagrama de etapas para la obtención del dispositivo.



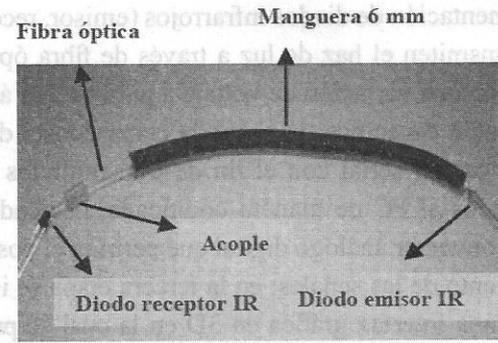
Basados en la investigación realizada en sensores con fibra óptica, se decidió implementar una tecnología similar a esta, a partir de *led* infrarrojos para la transmisión del haz de luz, considerando su fácil acceso, implementación y bajo costo.

#### 3.1.1 Diseño del primer sensor: Movimientos de flexión y extensión

Los pasos para la elaboración del sensor apto para los movimientos de flexión (inclinación del pie hacia la parte inferior, con ángulo estándar de inclinación de 30°) y extensión (inclinación del pie hacia la parte superior, con ángulo estándar de inclinación de 20°) son:

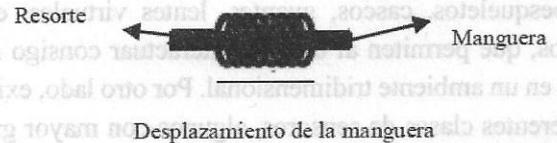
Diseño de un acople que consta de una manguera de 1/8 de pulgada de color negro, debido a la sensibilidad que presentan tanto la fibra como los *led* a ambientes luminosos. Los diodos emisor y receptor infrarrojos están ubicados en cada extremo de la manguera, y dentro de esta se encuentra ubicada la fibra óptica, que actúa como un conductor de luz. La Figura 3 muestra la disposición de los diodos en el acople del sensor.

Figura 3. Acople del sensor (diodos emisor y receptor infrarrojos con fibra óptica).



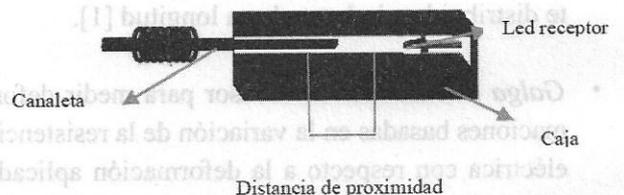
Adecuación de un sistema de resorte que permite desplazar la manguera y adaptarse al movimiento de la articulación. La manguera se ubicó dentro del resorte y se fijó a uno de sus extremos, junto con el diodo emisor, para producir su elongación y generar el movimiento, tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Sistema de resorte.



Construcción de una caja negra equipada de una canaleta en su interior para permitir el desplazamiento de la manguera. Adicionalmente, se fijó el diodo receptor que recibe la señal transmitida.

Figura 5. Acople.



El sensor mide la variación de voltaje producida por la proximidad de la luz emitida a través de la fibra óptica.

tica, que depende del ángulo de inclinación del pie al realizar cada uno de los movimientos. El sistema produce el desplazamiento conjunto de la manguera y la fibra cuando se realiza el movimiento, de manera que el receptor registra, según la distancia del haz de luz, la variación en los datos censados. Las características técnicas de este sensor son:

- Caja con longitud de 7,5 cm y ancho de 2,4 cm.
- Manguera con longitud de 8 cm y calibre 6 mm.
- Resorte con longitud de 3,3 cm.
- Diodo emisor y receptor infrarrojos de 3 mm de diámetro.
- El diodo receptor tiene una resistencia de 1 MΩ con una corriente de 5 uA y voltaje de 2,14 V.
- El diodo emisor tiene una resistencia de 1,2 kΩ con una corriente de 3,3 mA y un voltaje de 4,01 V.

**3.1.2 Diseño del segundo sensor: Movimientos de abducción y aducción**

La elaboración del sensor para los movimientos de abducción (desviación del pie hacia la parte exterior con un ángulo estándar de 10°) y aducción (desviación del pie hacia la parte interior con un ángulo estándar de 40°) usa la misma técnica de fabricación y se basa en los mismos dispositivos utilizados para el sensor de flexión y extensión.

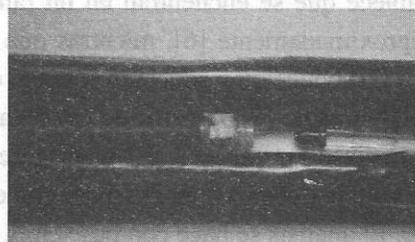
Este sensor se encuentra ubicado a lo largo del metatarsiano del meñique, el cuboides y el calcáneo del pie. La caja se localiza en uno de los gemelos y el resorte se encuentra encima del tobillo, por ser este el lugar en donde se genera la mayor cantidad de movimiento. Las características técnicas del sensor son:

- Caja con longitud de 10 cm y ancho de 2 cm.
- Manguera con longitud de 12 cm y calibre 6 mm.

- Resorte con longitud de 3,7 cm.
- Diodo emisor y receptor infrarrojos son de 3 mm de diámetro.
- El diodo receptor tiene una resistencia de 1 MΩ con una corriente de 5 uA y voltaje de 5,05 V.
- El diodo emisor tiene una resistencia de 820 Ω con una corriente de 4,84 mA y voltaje de 3,97 V.

Las Figura 6 muestra el acople final empleado en el dispositivo.

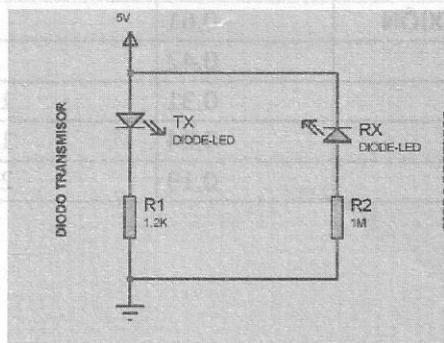
Figura 6. Acople final del sensor.



**3.1.3 Captura de datos**

La Figura 7 muestra la configuración de los diodos emisor y receptor infrarrojos.

Figura 7. Polarización de los diodos emisor y receptor infrarrojos.



Para analizar los datos obtenidos se toman medidas de voltaje en las resistencias de 1 MΩ de cada uno de los sensores, con el fin de relacionarlos con un ángulo de referencia, dependiendo del movimiento realizado. La variación de voltaje se produce según la distancia que hay entre cada uno de los extremos de la fibra óptica y el led receptor infrarrojo. Cuando el diodo se encuentra completamente enfrentado con dicha fibra, el voltaje que registra la resistencia de 1 MΩ es el máximo de la fuente de referencia (fuente de 5 V). A medida que la distancia entre el diodo y el haz de luz, que es conducido a través de la fibra, sea mayor, el voltaje sobre la resistencia irá disminuyendo paulatinamente hasta dar un registro de 0 V.

Al estudiar los valores máximo y mínimo de los ángulos de inclinación para los movimientos de flexión y extensión se establece que se encuentran en un rango entre 20° y 30° aproximadamente [6], mientras que para los movimientos de abducción y aducción el rango es de 10° a 40°, respectivamente [6]. A partir de estos valores estándares se realizan las Tablas 1 y 2 y así se relacionan los datos de voltaje obtenidos en el sensor con el ángulo de deflexión. El análisis se hace con base en la posición normal del pie, en un ángulo de referencia a 0°, a partir del cual se establecen las variaciones de voltaje según la inclinación de la articulación. En las Figuras 8 y 9 se muestra gráficamente la variación presente en el sensor para los movimientos de flexión y extensión del pie.

Tabla 1. Variación de voltaje respecto al ángulo de inclinación para el movimiento de flexión.

	VOLTAJE (V)	ÁNGULO (°)
<b>FLEXIÓN</b>	0,61	0
	0,42	5
	0,31	10
	0,24	15
	0,19	20

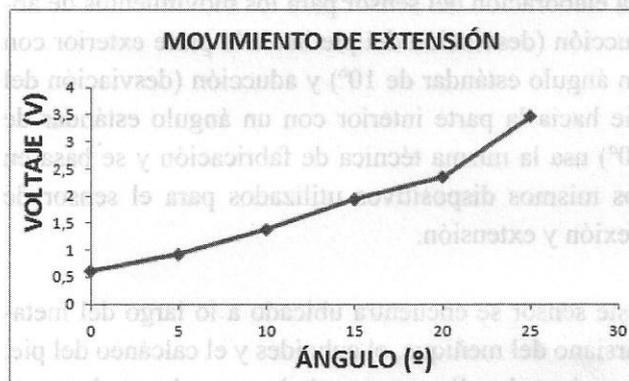
Figura 8. Relación voltaje vs. ángulo para el movimiento de flexión.



Tabla 2. Variación de voltaje respecto al ángulo de inclinación para el movimiento de extensión.

	VOLTAJE (V)	ÁNGULO (°)
<b>EXTENSIÓN</b>	0,61	0
	0,92	5
	1,38	10
	1,94	15
	2,35	20
	3,47	25

Figura 9. Relación voltaje vs. ángulo para el movimiento de extensión.



Para los movimientos de abducción y aducción se obtuvieron variaciones de voltaje con respecto al ángulo de inclinación de la articulación del tobillo, que se muestran numéricamente en las Tablas 3 y 4 y en las Figuras 10 y 11 gráficamente.

Tabla 3. Variación de voltaje respecto al ángulo de inclinación para el movimiento de abducción.

	VOLTAJE (V)	ÁNGULO (º)
ABDUCCIÓN	4,86	0
	4,89	5
	4,94	10
	4,95	15
	4,93	20

Figura 10. Relación voltaje vs ángulo para el movimiento de abducción.

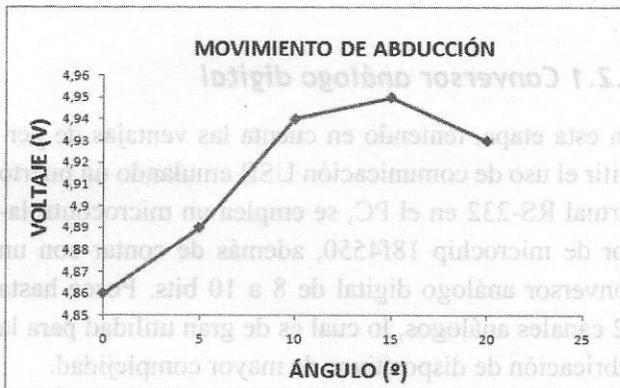
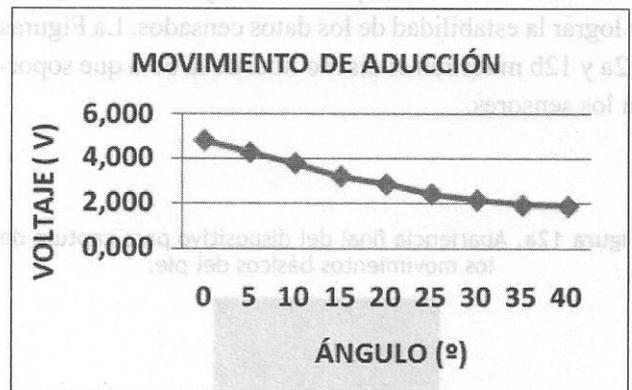


Tabla 4. Variación de voltaje respecto al ángulo de inclinación para el movimiento de aducción.

	VOLTAJE (V)	ÁNGULO (º)
ADUCCIÓN	4,82	0
	4,28	5
	3,8	10
	3,2	15
	2,85	20
	2,41	25
	2,14	30
	1,91	35
	1,87	40

Figura 11. Relación voltaje vs ángulo para el movimiento de aducción.



Las especificaciones técnicas del dispositivo final se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones técnicas del dispositivo.

Corriente Total Circuito de Recepción	Corriente Total Circuito de Transmisión	Voltaje Total Circuito de Recepción	Voltaje Total Circuito de Transmisión
87,8 mA	110 mA	5 V	5 V

### 3.1.4 Confección del sistema de soporte de los sensores

Los sensores se encuentran fijos a una bota que consta de dos partes: 1. la parte inferior, diseñada en forma de media, contiene los diodos emisores de cada uno de los sensores, fijos a ella a lo largo del tarso, metatarso y falanges del pie. Para los movimientos de flexión y extensión se localiza en la parte superior izquierda, mientras que para los movimientos de abducción y aducción su ubicación es en la parte lateral derecha; 2. la parte superior consta de una bota que contiene dos bolsas, una situada a lo largo de la tibia (movimiento de flexión y extensión) y la otra, en el peroné (movimientos de abducción y aducción), en las cuales se introducen las cajas que contienen los diodos receptores y la manguera con la fibra óptica.

Adicionalmente, se diseñó una argolla ubicada en el tobillo con el fin de dar soporte a las cajas de los sensores y lograr la estabilidad de los datos censados. La Figuras 12a y 12b muestran el diseño final de la bota que soporta los sensores.

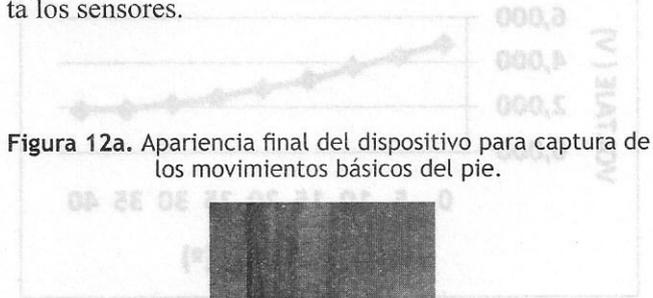


Figura 12a. Apariencia final del dispositivo para captura de los movimientos básicos del pie.



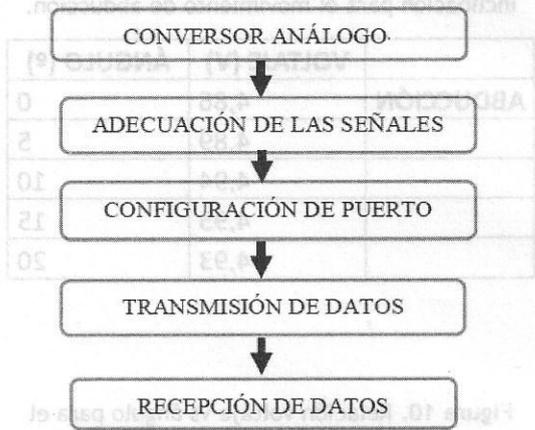
Figura 12b. Dispositivos para captura de los movimientos básicos del pie.



### 3.2 Etapa 2: Transmisión y recepción de datos (comunicación serial)

En la Figura 13 se muestran los pasos para el desarrollo de la interfaz de comunicación.

Figura 13. Diseño de interfaz de comunicación.



#### 3.2.1 Conversor análogo digital

En esta etapa, teniendo en cuenta las ventajas de permitir el uso de comunicación USB emulando un puerto virtual RS-232 en el PC, se emplea un microcontrolador de microchip 18f4550, además de contar con un conversor análogo digital de 8 a 10 bits. Posee hasta 12 canales análogos, lo cual es de gran utilidad para la fabricación de dispositivos de mayor complejidad.

#### 3.2.2 Adecuación de las señales

Para analizar correctamente las señales provenientes de los sensores de forma tal que no se detectara ningún tipo de interferencia entre ellos, y teniendo en cuenta el registro de voltaje en la resistencia de 1 MΩ del diodo receptor, se ajustó la sensibilidad de los diodos emisor y receptor, cambiando el valor de la resistencia que afecta directamente al led transmisor.

#### 3.2.3 Configuración del puerto

Se emplea una comunicación por USB CDC, en la cual es posible emular un puerto serial sobre un puerto USB haciendo uso de diferentes protocolos y empleando comunicación bidireccional serie entre el PIC y cualquier software del PC con puerto COM o con serie estándar, pero emulándolo vía USB.

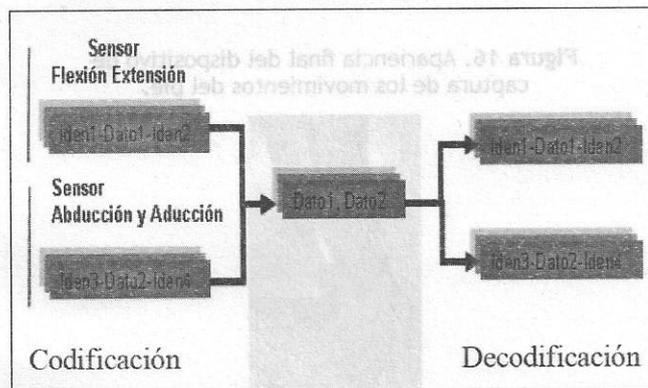
Se llevó a cabo la configuración del microcontrolador para permitir la comunicación serial por medio de una de las librerías que brinda el compilador PIC C Compiler, que es la CDC. Para que el sistema operativo reconozca el dispositivo en forma de comunicación serial estándar y lo registre como un puerto COM virtual, es necesario el *driver* mchpcdc.inf [7].

Una de las ventajas que presenta utilizar este tipo de comunicación es la reducción de los circuitos, puesto que se alimenta con la misma fuente del computador proporcionando una comunicación más estable.

### 3.2.4 Transmisión y recepción de datos

Para facilitar la decodificación de los datos y su correspondiente ordenamiento, se codificó cada una de las tramas de datos (Figura 14) provenientes de los sensores, haciendo uso de dos identificadores, entre los cuales se transmite el dato registrado en el conversor. Paso seguido, se hace lectura de los datos del conversor analógico digital a 8 bits y se obtiene una variación de los mismos de 0 a 255, variación que se relaciona con los ángulos de deflexión de cada uno de los movimientos.

Figura 14. Diagrama de transmisión de la información.



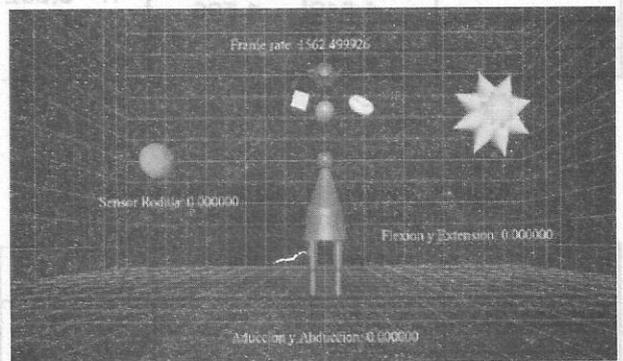
### 3.3 Etapa 3: Documentación y diseño de la interfaz gráfica

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se empleó un API de comunicación para el compilador Visual C++ 6.0, cuyo lenguaje de programación está en C++. Este API requiere de librerías especiales, tales como wxctb-0.8.lib y WIN-MM.LIB [8] que deben ser adicionadas al proyecto para habilitar el puerto.

Cada uno de los datos transmitidos al PC son almacenados en un vector que se analiza para establecer la posición específica del dato y a su vez almacenarlo en una variable que permita ser tratada y utilizada en las diferentes aplicaciones, para poder generar el movimiento de cada una de las articulaciones.

El siguiente paso se centra en el diseño de la interfaz gráfica en tercera dimensión, para lo cual se hace uso de programación en OPENGL partiendo de librerías especiales que permiten la manipulación de figuras primitivas, tales como cubos, esferas, conos, cilindros, toros, etc. En la Figura 15 se puede apreciar el tipo de entorno que puede crearse con estas librerías.

Figura 15. Aplicación utilizando librerías de OPEN GL.



Visual C++ también permite importar archivos de otros programas especializados en el modelamiento en 3D, tales como: 3Dmax Studio, maya, *blender*, entre otros. Con el fin de obtener una mejor apariencia en la visualización de las aplicaciones, se hizo uso de 3Dmax Studio, ya que cuenta con un tipo de programación compatible con muchos de los métodos implementados por

Visual y OPENGL, además de contar con la extensión .3ds utilizada en los software.

**3.4 Etapa 4: Pruebas y resultados**

- A partir de los datos reales tomados para cada uno de los movimientos, se obtuvieron los siguientes márgenes de tolerancia (Tablas 6-9), para los diferentes sensores.

**Tabla 6.** Margen de tolerancia para el movimiento de flexión.

	Voltaje medido	Valor promedio	Tolerancia
<b>FLEXIÓN</b>	0,196	0,196	+/- 1,176 %
	0,176		
	0,186		
	0,206		
	0,216		

**Tabla 7.** Margen de tolerancia para el movimiento de extensión.

	Voltaje medido	Valor promedio	Tolerancia
<b>EXTENSIÓN</b>	4,608	4,596	+/- 5,332 %
	4,647		
	4,549		
	4,510		
	4,667		

**Tabla 8.** Margen de tolerancia para el movimiento de aducción.

	Voltaje medido	Valor promedio	Tolerancia
<b>ADUCCIÓN</b>	2,471	2,5529	+/- 5,176 %
	2,549		
	2,588		
	2,510		
	2,647		

**Tabla 9.** Margen de tolerancia para el movimiento de abducción.

	Voltaje medido	Valor promedio	Tolerancia
<b>ABDUCCIÓN</b>	3,823	3,941	+/- 5,47 %
	3,922		
	4,019		
	4,000		
	3,882		

- La fibra óptica representa un buen medio, ya que permite hacer seguimiento a los datos capturados y diferenciar claramente los movimientos, con lo que otorga un amplio rango de variación y mayor estabilidad de cada valor.
- Se logró buena estabilidad para el dispositivo al fijar los sensores a través de la argolla, ya que esta impedía que las cajas se desubicaran y provocaran variaciones en los datos censados y mezclas entre movimientos.
- Para la visualización de los movimientos de la rodilla en Visual C++, fue necesario hallar una ecuación que permitiera tratar en forma adecuada la posición inicial y el ángulo de rotación de la articulación.
- El diseño final del dispositivo se ilustra en la Figura 16.

**Figura 16.** Apariencia final del dispositivo de captura de los movimientos del pie.



### 3.4.1 Implementación de módulos emisor y receptor inalámbricos XBEE PRO

Los módulos XBEE presentan características que se acomodan satisfactoriamente a las necesidades del proyecto. Entre las principales ventajas de estos dispositivos se encuentran: poseen una interfaz de comunicación por puerto serial RS-232 y USB; es apto para la transmisión masiva de datos; tienen mayor inmunidad al ruido y largo alcance; permiten cubrir mayores extensiones de campo usando pocos dispositivos; son módulos bidireccionales (*transceivers*) y trabajan con protocolo de comunicación 802.15.4 fabricados por Maxstream. Los módulos XBEEPRO presentan ventajas frente a los XBEE en cuanto a su alcance, que pasa de ser de 100 a 1500 m; y pueden ser programados a través de un software X-CTU para que funcionen solo entre ellos y no tengan interferencia con otros módulos del medio.

## 4. Conclusiones

- El dispositivo presenta un buen margen de tolerancia, por lo que es un prototipo confiable, ya que, independientemente del número de veces que sea utilizado, permitirá analizar cada uno de los movimientos de la misma manera.
- La fibra óptica es un sistema estable; la respuesta es instantánea y la variación entre datos es mínima. Esto se debe a la velocidad de transmisión que maneja, que es considerablemente alta.
- Es necesario contar con un buen aislamiento del sistema implementado con fibra óptica y *led* infrarrojos, debido a la sensibilidad que estos presentan ante ambientes luminosos. Si el sistema se encuentra expuesto a diferentes fuentes de luz, la respuesta que se obtiene varía de acuerdo con el haz emitido.
- Los potenciómetros no aportaron una buena lectura de datos, puesto que el rango de variabilidad de los mismos era muy inestable y a gran escala, lo cual impedía garantizar un buen tratamiento de los datos para su futura visualización en 3D.
- Al implementar un tercer sensor (rodilla), fue posible desarrollar aplicaciones más llamativas que relacionaran gran parte de las articulaciones de las extremidades inferiores del cuerpo, haciendo propicio el dispositivo para su utilización en diferentes áreas.
- Es importante tener en cuenta las especificaciones técnicas de los módulos inalámbricos, ya que no puede exigirse al puerto del computador una corriente mayor a 500 mA, pues podría ocasionar la pérdida del puerto.
- Posee grandes ventajas en cuanto al tipo de datos que se capturan, y con este es posible relacionar las variables de distancia y ángulo, por lo que pueden distinguirse las posiciones únicas de una articulación, dependiendo de si esta se encuentra arriba o abajo, a la derecha o a la izquierda.
- El dispositivo busca contribuir al desarrollo de métodos de aprendizaje innovadores y más llamativos para el estudiante.
- El dispositivo representa una alternativa económica para la captura de movimiento, de tal manera que contribuye al diseño de animaciones en 3D mucho más complejas.
- Este dispositivo puede emplearse como una herramienta de aprendizaje, especialmente en el área de la medicina, y permite una mayor inmersión del estudiante, impulsando el estudio detallado de las extremidades inferiores del cuerpo humano.
- Puede emplearse en los ámbitos de entretenimiento y deporte, ya que sus aplicaciones se prestan para desarrollar potencial y habilidades en danza, fútbol, entre otras actividades.
- Puede ser utilizado como herramienta didáctica para desarrollar habilidades cognitivas en los niños, facilitando la retención del conocimiento.

## Referencias

- [1] Juan Carlos Ramírez G. *Sensores y transductores*, 2006. En línea (14-10-08): <http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/docs/bio/2006/Cap2>.
- [2] *Galga extensométrica*. En línea (30-7-09): DirectiIndustri. <http://www.directindustry.es/prod/hbm/galga-extensometrica-6017-30653.html>
- [3] *La fibra óptica*. En línea (23-5-09): [http://html.rincondelvago.com/fibra-óptica\\_15.html](http://html.rincondelvago.com/fibra-óptica_15.html)
- [4] Yurisay Rodríguez. *Fibra óptica*. En línea (23-3-09): <http://www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml>
- [5] Víctor Smith Agreda. *Manual de embriología y anatomía general*. En línea (10-5-09): <http://books.google.com.co/books?id=MTxGo4G1hAwC&pg=P A345&dq=angulos+de+flexion+y+extension+de+l a+articulacion+del+tobillo#PPA351,M1>
- [6] Henri Rouvière, André Delmas, Vincent Delmas. *Anatomía humana*. En línea (10-5-09): <http://books.google.com.co/books?id=JvTMBJ6HGgQC&pg=P A631&dq=angulos+de+abduccion+y+aducción++d e+la+articulacion+del+tobillo&lr=#PPA632,M1>
- [7] Driver Microchip. *Microchip*. En línea (15-3-09): <http://ww1.microchip.com/>
- [8] M. E. Gómez Zanabria. *Librerías puerto serial*. En línea (15-3-09): <http://mgomez1974.googlepages.com/cursoopengl>

## 4. Conclusiones

- El dispositivo presenta un buen margen de tolerancia, por lo que es un prototipo confiable, ya que independientemente del número de veces que sea utilizado, permite analizar cada uno de los movimientos de la misma manera.
- La fibra óptica es un sistema estable; la respuesta es instantánea y la variación entre datos es mínima. Esto se debe a la velocidad de transmisión que maneja, que es considerablemente alta.
- Es necesario contar con un buen aislamiento del sistema implementado con fibra óptica y web inalámbrica, debido a la sensibilidad que estos presentan ante ambientes luminosos. Si el sistema se encuentra expuesto a diferentes fuentes de luz, la respuesta que se obtiene varía de acuerdo con el tipo de ambiente.
- Los posicionamientos no aportan una buena lectura de datos, puesto que el rango de variabilidad de los mismos es muy inestable y a gran escala, lo cual impedia garantizar un buen tratamiento de los datos para su futura visualización en 3D.