

# REALIDAD VIRTUAL NO INMERSIVA: INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS DE APLICACIÓN EDUCATIVA

## NON-IMMERSIVE VIRTUAL REALITY: IMPLEMENTING ELECTRONIC EDUCATIONAL TOOLS

LELY ADRIANA LUENGAS<sup>1</sup>  
DAVID ANDRÉS RINCÓN LÓPEZ<sup>2</sup>  
KATHERINE JOHANNA GALEANO<sup>3</sup>

RECIBIDO: SEPTIEMBRE 2009

APROBADO: DICIEMBRE 2009

### RESUMEN

Aunque la realidad virtual busca simular sofisticados espacios tridimensionales, el enfoque no inmersivo ofrece un nuevo mundo a través de una simple ventana de escritorio. Este enfoque no inmersivo es más barato y tiene probadamente mayor facilidad y rapidez de aceptación en los usuarios. La investigación adelantada permite diseñar una flauta electrónica que captura las notas musicales fundamentales y la presión con que sopla un usuario en su ejecución. Se busca así guiar y evaluar su desempeño, apoyado en una aplicación de software con la que tiene la posibilidad de interactuar. De esta manera se implementa un tipo de pedagogía constructivista que lo acompaña continuamente y le permite tener un ritmo de aprendizaje propio.

### *Palabras clave*

RVnI, flauta virtual, software educativo, formación, aprendizaje musical, realidad virtual.

### *Abstract*

Although virtual reality pursues the simulation of sophisticated three-dimensional-like spaces, the immersive approach does not offer a new world through a simple desktop window. This

non-immersive approach is cheaper and has proven easier and faster; according to user's acceptance. The research carried out allows you to design an electronic recorder that captures the basic musical notes and the pressure with which a user blows in its execution. It attempts to guide and evaluate the performance of it, supported by a software application that has the possibility of interaction. In this way, a kind

---

1 Ingeniera electrónica. Magíster en Ingeniería Eléctrica. Candidata a doctora en Ingeniería. Docente de la Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo: lalengasc@udistrital.edu.co

2 Tecnólogo en Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo: davandrnlop@hotmail.com

3 Tecnóloga en Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo: kjgaleanor@correo.udistrital.edu.co

of constructivist pedagogy that accompanies it continuously and allows you to keep your own learning pace is implemented.

### Keywords

VRnI, virtual flute, educational software, musical training, learning, virtual reality.

## 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene dos elementos de trabajo. En primer lugar, se parte de la existencia de personas que se ven sometidas a ritmos de estudio inapropiados para sus habilidades y aptitudes, en múltiples procesos de aprendizaje. Este factor provoca bajos rendimientos y animadversión hacia el aprendizaje. Tal situación se observa en especial en ambientes donde se desea desarrollar habilidades artísticas. Dado que se trata de un problema frecuente, se espera que las comunidades académicas de la pedagogía y la didáctica lo tomen como un objeto de investigación. En segundo lugar, en relación con lo anterior, se halla la necesidad de desarrollar herramientas de enseñanza de forma tecnológica e interactiva, con modelos más eficaces y llamativos que hagan más agradable el proceso de aprendizaje. La realidad virtual no inmersiva ofrece, como en este caso, una opción interesante y útil. Los simuladores educativos interactivos son una manera innovadora de presentar a un estudiante la información que requiere aprender, al tiempo que le dan la oportunidad de ser evaluado y acompañado a lo largo del proceso. Las dos ideas anteriores convergen para brindar una alternativa a la pedagogía tradicional, desde una perspectiva constructivista, utilizando dispositivos de ingeniería electrónica y de sistemas.

El artículo describe y desarrolla un entorno basado en la realidad virtual, enmarcado en las características y las falencias de la formación musical. El punto de partida es el diseño de un dispositivo electrónico, físicamente similar a una flauta

dulce, con un sensor capaz de captar la posición de los dedos y la presión del aire ejercida por una persona al tocarlo. Hay que tener en cuenta que inicialmente serán reconocidas únicamente las notas musicales fundamentales. Ligada al proceso de diseño del hardware, se desarrolla una aplicación en Java, que guía a los usuarios interesados en el aprendizaje musical, específicamente en el de tocar una flauta dulce.

## 2. REALIDAD VIRTUAL NO INMERSIVA

Desde 1960, cuando Ivan Sutherland fundamentó las primeras ideas sobre lo que se llamaría realidad virtual, el trabajo dedicado a la simulación de espacios tridimensionales, ha venido aumentando. Con el surgimiento y el rápido desarrollo de la Internet en los años noventa, y el consecuente advenimiento de la realidad virtual no inmersiva enfocada a su uso sobre la Red, se ha venido trabajando en la creación de ambientes virtuales que permitan la comunicación entre varios usuarios que comparten un espacio común [1]. La realidad virtual recrea un espacio, un ambiente, a través de medios tecnológicos tales como el ordenador, los cascos y las gafas que hacen que el sujeto se sienta físicamente dentro de este espacio. En tanto, la realidad virtual no inmersiva, aunque también da al usuario un ambiente en el cual puede interactuar en tiempo real, ya bien sea con un programa, con una persona que se encuentra en otro sitio o con un personaje ficticio que da órdenes y/o comparte con él, utiliza como único medio el ordenador. En este caso la interacción se limita al manejo de objetos básicos como el teclado y el mouse.

La realidad virtual no inmersiva ofrece un nuevo mundo a través de una ventana de escritorio. Este enfoque tiene varias ventajas sobre el inmersivo, como el bajo costo, la facilidad y la rapidez de aceptación de los usuarios. Los dispositivos inmersivos son de elevado costo y

generalmente el usuario prefiere manipular el ambiente virtual por medio de dispositivos familiares, por ejemplo el teclado y el ratón, que a través de cascos pesados o guantes [2].

Antiguamente la formación y la enseñanza de todo tipo de áreas estaban reducidas a una vida de ocio dedicada al aprendizaje. La búsqueda de la sabiduría conllevaba una total inmersión sensorial e intelectual en la propia vida, y los educadores se vieron desafiados a nutrir el entusiasmo y proporcionar las herramientas adecuadas a las mentes jóvenes. Ese deseo se ha retomado en la actualidad y se piensa en utilizar la realidad virtual no inmersiva en la formación musical, partiendo de la idea de que se puede crear un objeto virtual para representar un sonido particular, como el producido por un sintetizador, y el usuario que interactúa con el objeto puede hacer que el sonido sea generado. También es posible programar distintos parámetros para cada sonido, y los diferentes sonidos pueden ser combinados.

Los objetos no tienen por qué parecerse a los instrumentos tradicionales y cualquier sonido fuerte es susceptible de ser definido por medio de un productor de sonidos. Es dado construir una viola virtual a partir de una red o una reja con cuerdas cruzadas y el sonido de una trompeta virtual puede provenir simultáneamente de un conjunto de muchas campanas. De este modo, en un mundo virtual los usuarios logran crear y componer con baterías y tambores de muy distintas clases. Las reconstrucciones virtuales de música real hecha por músicos resultan muy útiles para los propios artistas. Los estudiantes son advertidos de las fallas y, si son conectados a un sistema director, son inspirados a través de una realimentación táctil de las pautas, para adaptar sus propios estilos [3]. Tal y como lo muestran las investigaciones, el proyecto se apoya en este tipo de conocimiento para diseñar y desarrollar la flauta virtual en la que se estimule el aprendizaje de la ejecución de este instrumento.

### 3. ESTADO DEL ARTE

#### 3.1 ESPACIO VIRTUAL MUSICAL

Los investigadores de la Universidad Waseda, en Tokio, están trabajando en una idea que han denominado “espacio virtual musical”. El sistema consta de un DataGlove (guante de datos), un micrófono con convertidor MIDI, un ordenador, una visualización en video, un sintetizador y un altavoz MIDI. El compositor elige el tono de la melodía con el micrófono y selecciona y toca los instrumentos con el DataGlove.

El guante envía al ordenador un vector  $S$  de catorce componentes, que es el vector de forma del movimiento de la muñeca, que da su posición, su velocidad, su orientación y los ángulos de flexión de los dedos. El proceso de reconocimiento por parte del ordenador se basa en una transformación que pone  $S$  sobre el vector  $C$  de la interpretación. Este último vector tiene ocho componentes: el piano, la guitarra, el violín, el saxófono, la trompeta, la orquesta, el coro y las partes primera, segunda y tercera. Cuando el compositor mueve la mano horizontalmente, por ejemplo, el ordenador entiende que quiere tocar el piano. Queda seleccionado el piano virtual y su teclado aparece delante del compositor en una pantalla grande. Las notas del piano responden en tiempo real a las flexiones de los dedos del DataGlove. Asimismo, es posible representar varios instrumentos y el compositor puede dirigir un coro o una orquesta completa.

#### 3.2 BIO MUSE

Esta interfaz musical es distribuida por Bio Control System Inc. y consiste en un pequeño seguidor del movimiento del ojo que capta la mirada del usuario para ajustar el sonido en altavoces estereofónicos.

Los diversos instrumentos se ponen en marcha con una cinta en la cabeza detectora EEG que lee las ondas alfa del cerebro. Por último, el usuario lleva en el antebrazo unos sensores de EMG que miden el tono muscular. Cerrando un puño, cambia el tono de la melodía; cerrando el otro, modifica el volumen. El muestreo de todas estas señales se hace en tiempo real. De esta manera, el usuario toca música virtual con su cuerpo convertido en instrumento [4].

### 3.3 MUSICAL APPLICATIONS OF ELECTRIC FIELD SENSING

El theremin fue uno de los primeros instrumentos musicales electrónicos. Sin embargo, proporciona un grado de control en tiempo real que sigue siendo incompleto en la mayoría de las interfaces de la música electrónica moderna. Revisando la física, la descripción de la adecuada instrumentación de medición, se discuten las aplicaciones que inician con la captura del desempeño virtuoso de instrumentos de cuerda y se convierten en el diseño de las nuevas interfaces musicales [5].

### 3.4 VBEAT AIR GUITAR

VBeat Air Guitar está creada con diferentes sensores, los cuales capturan las notas musicales que están siendo tocadas y da muchas posibilidades para diferentes melodías, junto con una modalidad para principiantes. Representa una divertida herramienta para el público en general.

Fabricada por Silverlit®, es una guitarra virtual sin cuerdas, sensible al movimiento. Tiene una púa con sensor de movimiento y un mástil donde se puede seleccionar ciertas notas, acordes o quintas (*powerchords*) para sonidos de guitarra eléctrica. Cuenta además con una estación base (cuerpo de la guitarra) con sujeción para

el cinturón, que incorpora un altavoz con control de volumen para la reproducción de los sonidos, y donde se pueden seleccionar sonidos de hasta cuatro tipos de guitarra: acústica, bajo y dos tipos de guitarra eléctrica [6].

### 3.5 VBEAT AIR DRUMS

VBeat Air Drums es fabricado por Silverlit®, y presenta unas baquetas que incluyen en su extremo un sensor de movimiento para identificar y reproducir el sonido preprogramado del objeto que está siendo tocado. Se trata de una batería virtual por sensores de movimiento. Tiene dos baquetas que distinguen hasta seis componentes distintos de la batería, según la forma de golpear el aire, junto con dos sensores para los pies, uno para el bombo y otro para el charles, y una estación base con sujeción para el cinturón que incorpora un altavoz con control de volumen para la reproducción de los sonidos y donde se pueden seleccionar hasta cuatro conjuntos (*sets*) de sonidos de percusión distintos [7].

## 4. METODOLOGÍA DESARROLLADA

### 4.1 INSTRUMENTOS DE VIENTO

Un instrumento de viento consta de un resonador acoplado a un medio que obstaculiza la corriente continua de aire. El aire puede ser interrumpido de las siguientes maneras: por una lengüeta, como es el caso de los silbatos, los órganos de tubos, las flautas dulces, la dulzaina, la ocarina, la flauta, el pífano o el flautín; por una lengüeta mecánica, como en el acordeón, la armónica, el clarinete, el saxo, la gaita, el oboe, el corno inglés y el fagot; por los labios, como en el clarín, el corno francés, la trompeta, la tuba y el trombón; y por las cuerdas vocales, durante la emisión de la voz humana [8].

Ya que el instrumento debe ser capaz de cubrir un rango específico de tonos, se necesita de algunos elementos para obtener de estos sonidos diferentes frecuencias. En los instrumentos de boquilla libre, se emplea un número considerable de lengüetas, uno para cada sonido producido, lo cual los hace más versátiles en función de las frecuencias sonoras que pueden generar.

Los instrumentos de viento deben cumplir las anteriores normas, y algunas otras que se muestran a continuación, para que el sonido sea ejecutado de una manera estética y de alta calidad.

La Figura 1 expone el prototipo de carcasa implementado en el proyecto. En su construcción se han tenido en cuenta los principios físicos que debe cumplir este tipo de instrumento musical: distancia entre los agujeros, diámetro de los agujeros, dimensiones de la boquilla, entre otros. Adicionalmente, se ha diseñado de tal forma que permita abrir el tubo principal, para dar la posibilidad de ubicar los componentes electrónicos necesarios para su funcionamiento, sin que la apertura perturbe el accionar de la flauta.



Figura 1. Imagen de la flauta diseñada.

## 4.2 EMISIÓN DEL SONIDO

La emisión del sonido consiste en iniciarlo de una manera precisa y estéticamente correcta. La emisión en estilo clásico debe ser realizada de forma exacta y sin agresividad. El inicio del sonido no debe ser más intenso que el que vendrá después, a menos de que esté acentuado. Se realiza con la lengua, y esta juega un papel importante en la emisión del sonido y en la realización de las articulaciones. Su función principal es ejercer de válvula que regula el paso de aire. Cada vez que emitimos un sonido debemos iniciarlo con la lengua, permitiendo que el aire entre en la flauta. Esto nos hará posible controlar de forma precisa la emisión de sonido.

La emisión de sonido en los instrumentos de viento consta de tres partes:

*Emisión.* Taponar la salida de aire mediante la lengua que se ubica de forma natural debajo del bisel y obtura el paso de aire. En el momento en que se retire, dará paso al aire y la flauta comenzará a sonar.

*Mantenimiento estable del sonido.* Se trata de que, una vez emitido el sonido, este se mantenga de manera homogénea, regular y estable, sin cambios de intensidad ni de altura (afinación).

*Finalizar el sonido.* Se trata de acabarlo de una manera precisa y controlada, mediante el uso de la lengua que vuelve a taponar el aire, al ubicarse debajo del bisel de entrada del aire. De esta manera, el aire se cortará y el sonido se interrumpirá [9].

Las etapas mencionadas anteriormente se tienen en cuenta en el desarrollo del software, pues esta es la forma en que el proyecto ayuda al usuario a formarse musicalmente para tocar flauta dulce. Además, la fuerza de soplido dada por el sensor de presión se sintetiza de manera eficiente para

lograr una gran cercanía a la realidad, en cuanto al tiempo de repuesta del instrumento. En la Tabla 1 se muestran los valores de voltaje medidos a la salida del sensor de presión, en pruebas realizadas a personas instruidas en el arte de tocar la flauta dulce. Estos datos son los parámetros utilizados para el diseño del algoritmo que discrimina entre una nota que es tocada de la manera correcta y una que no lo es.

NÚMERO DE USUARIO	VOLTAJE MEDIDO EN EL SENSOR (V)
1	2,01
2	2,23
3	2,16
4	2,34
5	2,37
6	2,26
7	2,27
8	2,31
9	2,13
10	2,11
11	2,13
12	2,46
13	2,54
14	2,27

Tabla 1. Datos de presión recogidos en pruebas a ciertos usuarios.

Esto da como resultado un rango pequeño de voltaje, en el que la nota está siendo bien ejecutada, el cual corresponde aproximadamente a 0,326 psi,  $22.2 \times 10^{-3}$  atm, 2,25 KPa

### 4.3 SENSÓRICA IMPLEMENTADA

#### 4.3.1 SENSOR DE PRESIÓN

La primera opción de sensor para cuantificar el caudal de aire que existe en la flauta es una turbina. Esta se mueve dependiendo directamente de la presión del aire emitido por el usuario. A

causa del movimiento, la turbina realiza una interrupción externa en un microcontrolador por medio de un opto acoplador de herradura, pero a medida que se realizan las pruebas se observa que el sensor creado no es eficiente. La turbina presenta una fuerza inercial difícil de vencer, lo cual da una lectura errónea en algunas de las mediciones. Además, resulta sumamente difícil construir una turbina que, junto al opto acoplador, se adapte al diseño del prototipo físico de instrumento electrónico que se realizó.

Con base en investigaciones se prueban otros dispositivos que son más eficientes. En este proceso se determina que el mejor mecanismo es utilizar el sensor de presión que a continuación se describe.

El sensor empleado para medir el caudal de aire, proveniente del soplo que el usuario produce para ejecutar alguna nota musical sobre el instrumento electrónico, es el Freescale MPXV 4006, cuyo funcionamiento es de 0 a 6 kPa (kilo pascales), el cual se encarga de asignar un valor de voltaje relacionando la presión del aire con un valor referencia de 4,8 V, para la máxima presión, y de 0,17 V, para la mínima.

Para identificar el parámetro de presión promedio, en el caso en el que se toca bien la flauta dulce, se recogen diferentes muestras de personas con conocimientos fundamentales acerca de cómo tocar la flauta de manera correcta. Al observar que los resultados están cercanos a ciertos valores máximo y mínimo, se especifican dentro del programa controlador para analizarlos y compararlos en cada momento de su ejecución.

Las características de operación de este sensor de presión son:

- Rangos de presión: 0-6 kPa  
0-0,87 psi
- Voltaje de alimentación: 4,75-5,25 V

- Corriente de alimentacion: 7-10 mA
- Temperatura de operación: -40- 125°C
- Tiempo de respuesta: 1 ms [10]

Las anteriores características determinan la facilidad de utilizar un dispositivo como este, su maniobrabilidad dentro del prototipo y sus grandes cualidades de operación, que lo hacen un excelente mecanismo para implementar dentro del proyecto e impulsar sus objetivos.

En la Figura 2 se observan los distintos encapsulados del sensor de presión Mpxv 4006. Así mismo, se aclara que el utilizado es el MPXV 4006GP, ya que los otros tipos de encapsulados son de sensores con ciertas características que los hacen inapropiados para la aplicación necesaria en este caso. Por ejemplo, el MPXV 4006DP es un sensor con entrada diferencial, lo que significa que su salida depende de una comparación entre dos presiones diferentes, las cuales son captadas en sus dos terminales de entrada; pero el dispositivo que se desarrolla requiere percibir una única presión. Por lo tanto, el encapsulado "case 1369" reunió las cualidades y características físicas para ser el mejor a implementar.

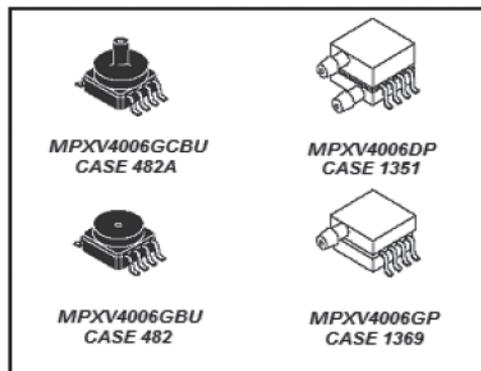


Figura 2. Encapsulados del sensor MPXV 4006. Fuente: [10]

En la Figura 3 se observa el comportamiento del sensor frente a los diferentes valores de presión que pueden existir en su entrada, dando un rango de este dato. Así mismo, se muestra la función de transferencia que cumple el funcionamiento del sensor en una temperatura de 10 a 60 °C. Esta es de gran ayuda para identificar el valor de presión que está siendo ejercida por el usuario de la flauta virtual.

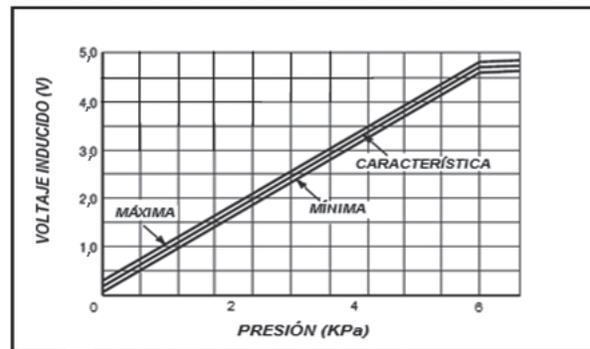


Figura 3. Curva característica del sensor de presión MPXV 4006.

En la Tabla 2 se muestran las equivalencias entre unidades de presión. Para entenderlas mejor, sin importar cual se esté manejando, se podrá interpretar la información capturada en cualquier caso.

	psi	atm	kPa	mbar	mmHg
psi	1	0,68	6,89	68,95	51,71
atm	14,66	1	101,3	1.013	760
kPa	0,145	$9,869 \times 10^{-3}$	1	10	7,5
mbar	0,014	$9,869 \times 10^{-4}$	0,1	1	0,75
mmHg	$1,93 \times 10^{-2}$	$1,316 \times 10^{-3}$	0,133	1,333	1

Tabla 2. Equivalentes en unidades de presión.

### 4.3.2 SENSORES DE CAPTURA DE POSICIÓN

El sensor óptico reflexivo, con salida a un transistor CNY70, tiene una construcción compacta. El emisor de luz y el receptor se ubican en la misma dirección para detectar la presencia de un objeto utilizando la reflexión del infrarrojo sobre el este. La longitud de onda de trabajo es 950 nm y el detector consiste en un fototransistor [7].

En la Figura 4 se observa la construcción del sensor junto con el circuito de polarización y su funcionamiento. Este sensor se implementa en cada orificio de la flauta para identificar si está o no siendo cubierto por un dedo. En el momento en que el dedo se posiciona encima del orificio, hay una superficie reflectante que hace la función del medio de reflexión para el haz infrarrojo emitido por el diodo, lo que lleva a conducir en transistor receptor.

Un prototipo para los sensores de la posición de los dedos son los sensores de proximidad. Su funcionamiento es óptimo y sencillo, pero su estructura física se aleja del modelo de una flauta real, y el usuario debe ejercer cierta presión adicional en los dedos en el momento de tocar la nota, con el fin de activar cada botón. Al implementar el sensor de tipo reflexivo se logra una simulación mucho mejor de una flauta real, con la posibilidad de cubrir los orificios de la manera tradicional.

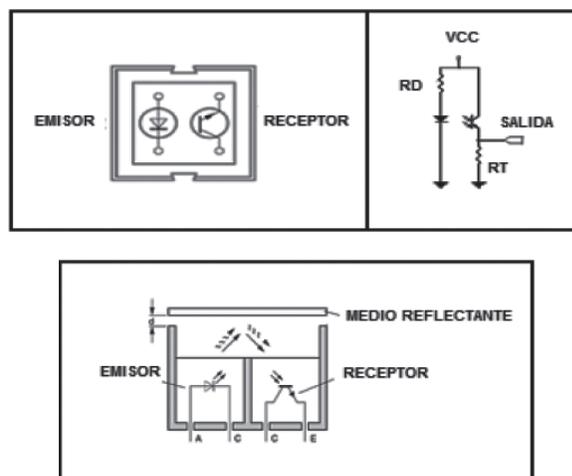


Figura 4. Diagrama de construcción, polarización y funcionamiento del sensor CNY 70.

A continuación se expone el modelado matemático realizado para la implementación de los sensores en cada orificio de la flauta cuando existe una superficie reflexiva (cada dedo sobre el orificio). Cuando no existe, el transistor se encuentra en el área de corte debido a que no se presenta ninguna señal en su base.

- $V_{cc} = 5 \text{ V}$
- $R_B =$  resistencia de base =  $1 \text{ k}\Omega$  de protección para el diodo emisor
- $I_B =$  corriente de base
- $R_E =$  resistencia de emisor (salida)
- $I_E = I_B * (\beta + 1)$
- $\beta = 200$

Con esto se diseña la polarización para una corriente de salida ( $I_E$ ) de aproximadamente 20 mA, a fin de ubicar el punto de trabajo en la zona de saturación del transistor.

Malla de salida:

- $V_{cc} - R_E * I_E = 0$
- $5V - R_E * 20 \text{ mA} = 0$
- $R_E = 5V / 20 \text{ mA} = 250 \Omega$

Y, por lo tanto:

$$I_B = I_E / (\beta + 1) = 99.502 \mu\text{A}$$

#### 4.3.3 TRANSMISIÓN DE DATOS VÍA USB (UNIVERSAL SERIAL BUS)

En un principio, se implementó una comunicación serial para transmitir datos entre el microcontrolador y el computador (software), pero este tipo de comunicación es algo obsoleta hoy en día. Por lo tanto, algunos computadores no traen esta clase de puertos y se debe utilizar cables conversores. Debido a esto se procedió a utilizar el puerto USB.

El USB nació con una velocidad de 12 Mb/seg. Su evolución, el USB 2.0, apodado USB de alta velocidad, tiene velocidades de hasta 480 Mb/seg, es decir, es cuarenta veces más rápido que las conexiones mediante cables USB 1.1.

USB es una arquitectura de bus desarrollado por un grupo de siete empresas (Compaq, Digital Equipment Corp., IBM PC Co., Intel, Microsoft, NEC y Northern Telecom), que forma parte de los avances *plug-and-play* y permite instalar periféricos sin tener que abrir la máquina para instalarle hardware; es decir, basta con conectar dicho periférico.

USB (Universal Serial Bus) es una interface *plug-and-play* entre el PC y ciertos dispositivos, tales como el teclado, el mouse, el escáner, las

impresoras, los módems y, en este caso particular, el dispositivo que simula una flauta dulce.

Una característica importante es que permite a los dispositivos trabajar a velocidades mayores, en promedio, a unos 12 Mbps. Entonces, es de tres a cinco veces más rápido que un dispositivo de puerto paralelo, y de veinte a cuarenta veces más rápido que un dispositivo de puerto serial [11].

## 5. RESULTADOS

El principal resultado es la implementación exitosa del dispositivo hardware que captura las notas fundamentales, las cuales son tocadas en una flauta dulce y se transmiten al computador, donde la interacción es coherente y eficiente.

La combinación de la instrucción musical referente a la flauta dulce, la sensórica y la comunicación con el computador da como resultado el dispositivo electrónico en el cual un aplicativo de software desarrollado en Java, Netbeans, ofrece la información necesaria al usuario para aprender a tocar las notas fundamentales en una flauta dulce y le da la oportunidad de escoger cuál de ellas quiere practicar. Según esta decisión, el computador envía al circuito electrónico un dato para identificar la nota que debe captar. Por medio de un micro controlador PIC se capturan los datos de los sensores (presión de aire y posicionamiento de los dedos), se analizan y se devuelve un dato al software en el cual se proporciona una corrección o un aval de la ejecución. Se completa así un ciclo de información y retroalimentación cuyo objetivo es la comprensión y el aprendizaje exitoso.

### 5.1 DINÁMICA DEL SISTEMA

En la Figura 5 se observa de manera general la dinámica de funcionamiento del dispositivo generado a lo largo de este proyecto, la cual es cíclica,

ya que los datos capturados por los sensores deben ser evaluados para emitir una retroalimentación significativa en el aprendizaje del usuario.

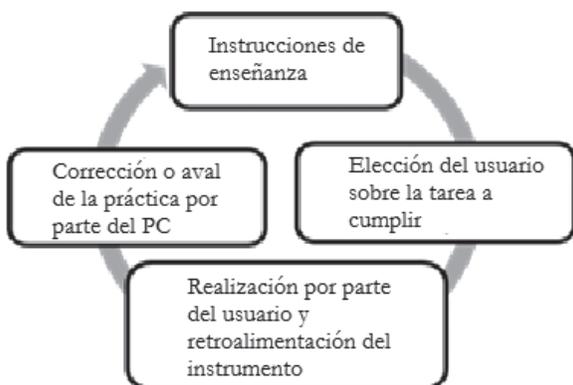


Figura 5. Diagrama de la dinámica del sistema.

La Figura 6 expone los bloques funcionales del sistema. En la primera etapa el software cumple con la tarea de instruir al usuario y mostrar la manera correcta de tocar una flauta dulce. Cuando el usuario ha revisado esta información, con la velocidad que desee y cuantas veces requiera, procede a escoger el tipo de prueba que quiere realizar. Se genera entonces una dinámica pedagógica constructivista en la que se pone a disposición del estudiante las herramientas necesarias para el proceso de aprendizaje y él se encarga de hacer uso de estas, de la manera que considere más conveniente y útil.

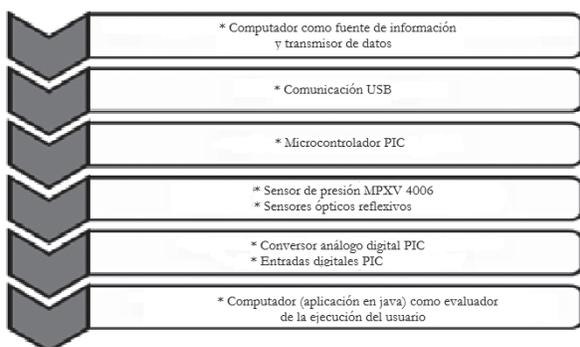


Figura 6. Esquema de bloques funcionales.

Cuando la prueba es escogida, se envía un dato al microcontrolador PIC, el cual identifica la nota que debe ser tocada por el usuario en los siguientes segundos. Luego se analiza la entrada de la posición de los dedos por medio de entradas digitales al microcontrolador y la presión de aire ejercida por el soplo del usuario, haciendo uso de el conversor análogo-digital del mismo integrado, para que los resultados sean comparados con los esperados y retroalimentar una respuesta al computador (comunicación USB), específicamente al aplicativo de software en Netbeans, indicando al estudiante sus falencias o cualidades en la ejecución. Así, se genera una dinámica favorable para el cumplimiento del objetivo de enseñar una forma correcta de tocar la flauta dulce.

La aplicación se desarrolla en el lenguaje de programación Java, en el ambiente de desarrollo Netbeans IDE 6.5.1, para el planteamiento de la interacción entre el usuario y la información ofrecida, de la reproducción de los sonidos de cada nota y de la comunicación USB.

Finalmente, el dispositivo se prueba en cinco usuarios, entre seis y nueve años de edad, que tenían conocimientos previos en la utilización del computador y sus periféricos, por lo que no se presenta ningún inconveniente en el manejo de la aplicación. Los resultados en cada etapa de la interacción entre el computador, la flauta virtual y el usuario después de veinte minutos muestran un aprendizaje efectivo del 40% de las notas musicales fundamentales.

Se logra entonces la realización exitosa de las diferentes actividades propuestas. La retroalimentación con respecto a las habilidades y los conocimientos adquiridos fue muy buena junto con el agrado que los usuarios mostraron hacia la herramienta; incluso demandaron aplicaciones en diferentes instrumentos y con mayores alcances.

## 6. CONCLUSIONES

- Se elaboró un dispositivo electrónico físicamente similar a una flauta dulce capaz de captar el posicionamiento de los dedos y la presión del aire ejercida por una persona al tocarla. Para ello se implementaron sensores reflexivos CNY 70 en cada orificio y el sensor MPXV 4006 para capturar la presión del soplo.
- Se logró percibir en la flauta dulce diseñada las notas musicales fundamentales: do, re, mi, fa, sol, la, si y do agudo. Analizando los datos capturados por los sensores y enviados al PIC 18F4550, en este integrado las señales del posicionamiento de los dedos se recogen en las entradas digitales y este arreglo de bits se compara con los datos pre-determinados en el algoritmo del microcontrolador. Así mismo, la señal emitida por el sensor de presión entra al conversor análogo digital del PIC y este valor se compara con el estipulado en las pruebas como correcto.
- Se desarrolló una aplicación en el lenguaje Java, que es una guía para los usuarios interesados en aprender el arte de tocar una flauta dulce. Se cumplió exitosamente con la realización de las etapas de instrucción, comunicación y retroalimentación sensorial, las cuales permiten la culminación exitosa de un proceso de aprendizaje.
- Se evidenció la importancia de implementar una comunicación más eficiente que la ofrecida por un puerto serie o paralelo, como lo es la USB, para el funcionamiento óptimo y la utilización generalizada de la herramienta construida. Se observó la importancia de la electrónica en aplicaciones poco exploradas y de gran impacto en diferentes aspectos, en este caso, en el arte y la pedagogía musical.
- Con la realización de un instrumento electrónico de aplicación educativa se genera una perspectiva de investigación en el campo de la realidad virtual no inmersiva relacionado con la música, muy poco desarrollado en el país, y que puede conducir a la construcción de soluciones en los sectores educativo, de salud, de entretenimiento, industrial, productivo, etc.
- Para futuras aplicaciones se pueden implementar melodías completas en el proceso de enseñanza de la flauta dulce, lo que lo haría más integral y efectivo. Así mismo, es posible proyectar la realización de aplicaciones para personas con discapacidades físicas y ayudar con ello en su desarrollo cultural y artístico.

## REFERENCIAS

- [1] P. M. Wightman, *Ambientes de realidad virtual no inmersiva multiusuario con herramientas de software libre*. Barranquilla: Universidad del Norte, 2004. Disponible en: (6-2009): [http://www.csee.usf.edu/~pedrow/files/Paper\\_PW\\_GG.pdf](http://www.csee.usf.edu/~pedrow/files/Paper_PW_GG.pdf)
- [2] M. A. Gálvez, *Posicionamientos y puestas en pantalla: Un análisis de la producción de sociabilidad en los entornos virtuales*. Barcelona: UAB, 2004.
- [3] H. J. Cardozo, “Realidad virtual”, 2004. Disponible en (6-2009): <http://www.jeuazarru.com/docs/RealidadVirtual.pdf>
- [4] G. C. Burdea, *Tecnologías de la realidad virtual*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, 1996.
- [5] N. Gershenfeld y J. Paradiso J., “Musical applications of electric field sensing”, 2000. Disponible en (7- 2009): [http://www.media.mit.edu/resenv/pubs/papers/96\\_04\\_cmj.pdf](http://www.media.mit.edu/resenv/pubs/papers/96_04_cmj.pdf)

- [6] F. Panaitescu, *Play anywhere with The V-Beat instruments*. Inglaterra: Softpedia, 2009. Disponible en (8-2009): <http://gadgets.softpedia.com/news/Play-Drums-Anywhere-With-TheV-Beat-Drumsticks-3802-01.html>
- [7] T. Vishay, Documento 83751, 2005. Disponible en (8-2009): <http://www.vishay.com>.
- [8] IES. Método de flauta dulce, 2008. Disponible en (7-2009): <http://d.scribd.com/docs/1o4swtz52kje6axp6ivy.pdf>
- [9] P. R. Páez, *La emisión del sonido en la flauta dulce*. Bogotá: Adarmus, 2007. Disponible en (6-2009): <http://www.adarmus.com/images/Partituras1/EmiFla2.pdf>
- [10] Freescale Semiconductor Inc., Hoja característica de datos técnicos MPXV 4006 SERIES, 2004. Disponible en (6-2009): <http://www.datasheetcatalog.com>
- [11] M.C. Moran y G. Echeverría, USB. Chile: Monografías, 2001. Disponible en (8-2009): <http://www.monografias.com/trabajos11/usbmem/usbmem.shtml>