

# Diseño de dispositivo háptico que simula cambios de temperatura según la posición de la mano con respecto a su entorno virtual

## Design of a haptic device that simulates temperature changes depending on the position of the hand relative to his virtual environmentx

Vladimir Prada<sup>1</sup>, Andrés Acuña<sup>2</sup>, Hans Araque<sup>3</sup> y Andrés Velandia<sup>4</sup>

### Resumen

La mayoría de simulaciones hechas hasta el momento en entornos virtuales involucran exclusivamente la vista y el oído. Pero la creciente necesidad de lograr mayor fidelidad en las representaciones obtenidas y de incrementar la sensación de inmersión del usuario dentro de un entorno virtual exige un componente de interactividad que solo puede alcanzarse mediante dispositivos de tipo háptico (para el tacto).

En este artículo se presenta el diseño de un dispositivo háptico que simula cambios de temperatura y crea la sensación de caliente o frío en la palma de la mano según la posición en la que se encuentre en el entorno virtual. Usando un sensor infrarrojo de proximidad se determina la distancia de la mano. El control de temperatura se hace

por medio del sistema embebido Arduino, que genera una señal de PWM (modulación por ancho de pulso) y está encargado de realizar la comunicación con el entorno virtual en Unity, que es una plataforma que incorpora un lenguaje de programación gráfico y de código C.

En la fabricación del dispositivo se logra que el usuario sienta, en la palma de su mano, los cambios de temperatura (frío y calor) con respecto a la variación de posición en su entorno virtual (nevado y volcán). Así se logran avances para futuros videojuegos al crear mayor conectividad entre el usuario y la máquina.

**Palabras claves:** háptica, sensor, sistema embebido, entorno virtual (Unity).

<sup>1</sup> Ingeniero mecatrónico, magíster en Sistemas Automáticos de Producción, integrante del grupo de investigación GIAR de la Universidad Central, vpradaj@ucentral.edu.co.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Central, jacunap@ucentral.edu.co.

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Central, haraquec@ucentral.edu.co.

<sup>4</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Central, avelandias@ucentral.edu.co.

## Abstract

Most simulations performed so far in virtual environments involving only the sight and hearing, but the growing need for greater fidelity representations obtained and to increase the sense of immersion of the user within a virtual environment requires a component of interactivity that can only be achieved through haptic devices type.

This article describes the design of a haptic device that simulates temperature changes creating the sensation of hot or cold in the palm according to the position where it is in the virtual environment is presented. Using an infrared proximity sensor distance hand is determined; the temperature control is performed by means of Arduino embedded system, generating a PWM signal (pulse-width modulation) that is also responsible for performing communication with the virtual environment Unity which is a platform that incorporates a programming language graphic and code C.

In the embodiment of the device it is achieved that the user feel changes in temperature (hot and cold) in the palm of your hand with respect to the change in position in its (snowy and volcano) virtual environment and making progress for future games, creating greater connectivity between the user and the machine.

**Keywords:** haptics, sensor, embedded system, virtual environment (Unity).

## 1. Introducción

En la actualidad, los dispositivos hápticos han proporcionado grandes avances tecnológicos. Han logrado la interacción entre el mundo real y el mundo virtual con sensaciones básicas que se pueden tener por medio del sentido del tacto.

El estudio de la háptica se basa en señales sensoriales que surgen de la interacción con entornos reales o virtuales que incluyen variables físicas como fuerza, momento, dureza, viscosidad, temperatura, etc., que provienen de las características propias de aquello que se toca, pero también de la persona que lo toca.

En 1985, se llevó a cabo un sencillo experimento de importantes consecuencias teóricas. En esencia, no se trataba más que de presentar 100 objetos de uso común y evaluar la precisión y rapidez con la que era posible identificarlos. El nivel de reconocimiento fue muy alto, no solo en cuanto a la adecuación de las respuestas de identificación (95%), sino también con respecto a la rapidez con la que estas se produjeron (el 68% se dieron en menos de tres segundos y solo el 6% de las respuestas requirió más de cinco segundos) (Jover, 1992). Según esto, el propósito de diseñar dispositivos hápticos es que el usuario pueda percibir múltiples sensaciones de tal forma que se cree un ambiente de inmersión entre usuario y máquina.

Dispositivos como Cybergrasp, Phantom Omni y equipo quirúrgico Da Vinci son un claro ejemplo de la evolución que han tenido este tipo de dispositivos, que, además, son utilizados en diferentes áreas de la ciencia.

El empleo de sistemas de realidad virtual como método de propiocepción en parálisis cerebral constituye un nuevo enfoque de tratamiento que refuerza el aprendizaje motor orientado a tareas (Pereira, 2014). Así mejora

la calidad de vida de las personas en condición de discapacidad.

El dispositivo háptico desarrollado logra crearles la sensación térmica a los usuarios, que experimentan cambios de temperatura según la distancia a la que se encuentre la mano referente del sensor infrarrojo de proximidad. Este movimiento se visualiza en un entorno virtual. Su objetivo es ayudar a la investigación de los problemas de somestesia (alteraciones de la sensibilidad) y a la creación de nuevos videojuegos basados en una interacción más real entre usuario y máquina.

## 2. Materiales y métodos

Se diseñó el flujograma de la metodología desarrollada (figura 1) y que debe tener el dispositivo para que funciones de manera adecuada, a fin de que no les provoque lesiones a los usuarios.

Los elementos que se utilizaron fueron los siguientes: sensor de distancia (GP2Y0A41SK0F), para determinar la posición; celda de Peltier, como actuador termoeléctrico; el sistema embebido Arduino, para hacer el control del dispositivo y la comunicación con la interfaz gráfica del computador; y el sensor de temperatura (LM35), que envía una señal

análoga al Arduino para que no sobrepase el rango de trabajo de la celda de Peltier, lo que asegura que el usuario no sufra ninguna lesión.

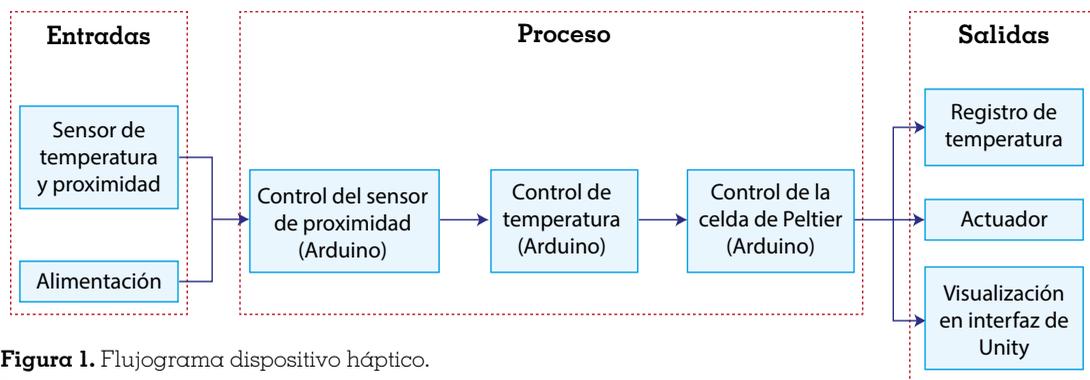
### 2.1 Entorno virtual en Unity

El entorno virtual se desarrolló en la plataforma Unity, que permite programar las funciones de envío y recepción de datos en código C. De ese modo se garantiza que el usuario interactúe en tiempo real con el prototipo. En la figura 2, se observa un cubo blanco. Este objeto es el encargado de generar la interacción con el usuario. En el punto medio, en donde se encuentra el objeto, el usuario sentirá la temperatura ambiente. Pero, a medida que mueva la mano al nevado o al volcán, sentirá la respectiva sensación de calor o frío.

### 2.2 Sensor de proximidad

#### GP2Y0A41SK0F

Para determinar la posición del objeto se utilizó el sensor infrarrojo GP2Y0A41SK0F, que tiene una salida análoga. El rango de medición del sensor es de 4 a 40 cm y la salida del sensor es una señal análoga, en el rango de 0,3V a 2,8V. Esta señal analógica es leída mediante una de las entradas análogas del sistema embebido Arduino (Banzi, 2011) y es procesada para obtener el dato de distancia en centímetros.



**Figura 1.** Flujograma dispositivo háptico.

Fuente: elaborado por el autor, 2015.



**Figura 2.** Entorno virtual en Unity.  
Fuente: elaborado por el autor, 2015.

### 2.3 Alimentación y etapa de regulación de voltaje

La fuente de alimentación utilizada por este equipo es una fuente conmutada de 12V (DC) a 13A. Esta provee de energía a todo el sistema y entrega así la potencia necesaria. La celda de Peltier es el dispositivo que más corriente necesita para entrar en operación.

### 2.4 Funciones del Arduino en el prototipo

El sistema Arduino (figura 3) es un sistema embebido de código abierto utilizado para desarrollar y programar elementos electrónicos (Gibb, 2010). Puede recibir y enviar información a la mayoría de los dispositivos e, incluso, se puede comunicar a través de internet. Esta tarjeta incorpora un microcontrolador marca ATMEGA328, que se encarga de todos los procesos aritméticos y lógicos del dispositivo háptico (Atmel Corporation).

El mando del dispositivo se ejecuta por medio del sistema embebido Arduino. El código permite controlar la celda de Peltier usando la señal de PWM y teniendo en cuenta la variación de tensión en la salida del sensor de proximidad con una relación de 0,1V/cm. Esta es capturada por el conversor análogo digital del

microcontrolador, que tiene una resolución de 10 bits. De ese modo se obtiene la ecuación 1:

$$\text{Resolución} = \frac{5V}{2^{10}} (1)$$

$$\text{Resolución} = 4,887 \text{ mV} / \text{bit}$$

Donde la conversión de bits a voltios está dada por la ecuación 2:

$$\text{Voltios} = \text{Dato} \left( \frac{4,88mV}{\text{bit}} \right) (2)$$

En donde *Dato* es el valor que se obtiene del valor registrado por el conversor análogo digital. Para poder tener la posición del objeto se hace la conversión de voltios a centímetros, que da la ecuación 3:

$$\text{Distancia} = \text{Voltios} \left( \frac{10cm}{v} \right) (3)$$

Por último, se varía el ancho del pulso para controlar la celda teniendo en cuenta la distancia en la que se encuentra la mano del sensor de proximidad. Esto da la ecuación 4:

$$\text{PWM} = \left( \frac{\text{Distancia} - \text{PM}}{13,5 \times 255} \right) (4)$$

Donde PM es la mitad del rango de distancia, que es el punto de referencia para aumentar o disminuir la temperatura de la celda.



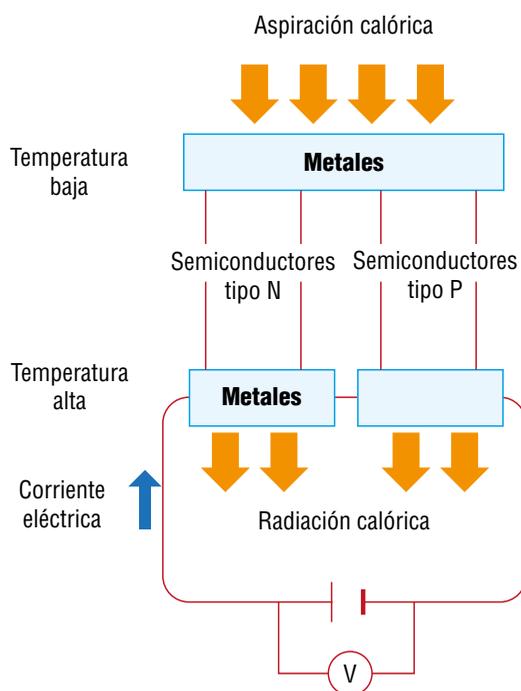
**Figura 3.** Sistema embebido Arduino UNO.

Fuente: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc).

## 2.5 Función del módulo de Peltier en el prototipo

El efecto Peltier se caracteriza por la aparición de una diferencia de temperaturas entre las dos caras de un semiconductor cuando por él circula una corriente. Por lo general, dichas celdas están fabricadas con bismuto (para la cara del semiconductor tipo P) y telurio (para la cara tipo N) (Sandoval, Espinosa y Barahona, 2007).

En el prototipo, el módulo de Peltier es controlado con la señal PWM que genera el Arduino. Dicha celda es la que provoca el delta de temperatura en la mano. Para pasar de caliente a frío, o viceversa, se requiere cambiar la polaridad de la celda. Esto produce aspiración calórica en el lado de baja temperatura y se produce calor en el lado de alta temperatura. Es decir, cumple la función de bomba de calor (figura 4).



**Figura 4.** Celda de peltier.

Fuente: [www.z-max.jp](http://www.z-max.jp).

Además, el uso del módulo de Peltier ofrece las siguientes ventajas:

- No se utiliza el freón para la refrigeración y no tiene efectos negativos sobre el medioambiente.
- Es de tamaño pequeño y liviano.
- No solo se puede refrigerar. También se puede calentar con solo cambiar la dirección de la corriente eléctrica.
- Tiene buena reacción a la temperatura, es decir, se calienta y enfría con rapidez.
- Al no tener piezas móviles, no produce ruido ni vibración.
- Es de fácil mantenimiento, pues no hay que preocuparse por pérdidas de líquido ni de gases refrigerantes.

## 2.6 Sensor de temperatura LM35

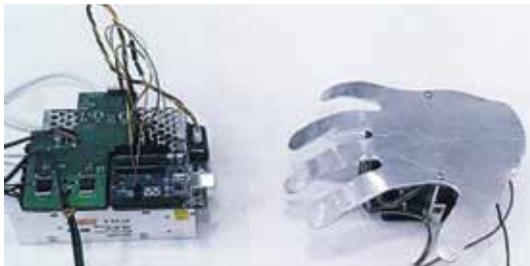
El sensor integrado LM35 tiene como función medir la temperatura para asegurar el nivel de operación adecuado. Este proceso consiste en medir la temperatura del módulo de Peltier y garantizar un nivel máximo de 40°C y un nivel mínimo de 5°C. La tensión de salida del sensor es linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados. Este no requiere calibración externa y tiene un rango de funcionamiento desde los -55°C hasta los 150°C (Liu *et al.*, 2011, agosto).

Por cada variación de un grado en la temperatura hay una variación de diez mV en la salida del sensor. Esta salida analógica está conectada al bit 0 del puerto A del sistema embebido Arduino. De esta manera, cuando la celda se sale del rango de operación, el microcontrolador desactiva la alimentación del módulo.

### 3. Resultados y discusión de resultados

Se diseñó un dispositivo háptico tipo mouse capaz de producir una estimulación térmica en la palma de la mano para percibir sensaciones de temperatura (figura 5) que pasan por diferentes niveles de calor y frío.

Además, se diseñó una interfaz en Unity cuyo fin es que el usuario que manipule el dispositivo pueda interactuar con un entorno virtual. Este proyecto está enfocado en utilizar cuatro componentes de gran importancia para su correcto funcionamiento, a saber: la celda de Peltier, el sensor de temperatura, el sensor de proximidad y el sistema embebido Arduino.



**Figura 5.** Dispositivo háptico.  
Fuente: elaborado por el autor, 2015.

El dispositivo háptico está diseñado de tal forma que no les ocasiona lesiones a los usuarios, pues el sensor de temperatura (LM35) envía una señal análoga al Arduino para que no se salga del rango de operación que está contemplado (entre 5°C y 40°C).

La plataforma Unity permite una interacción en tiempo real con el usuario: este pone la palma de su mano sobre la celda de Peltier y en el punto medio siente la temperatura ambiente; pero, a medida que desplace la mano, sentirá calor o frío según la dirección del movimiento (figura 6).



**Figura 6.** Montaje final del dispositivo.  
Fuente: elaborado por el autor, 2015.

### 4. Conclusiones

Con el conocimiento y tecnologías que tenemos hoy en día se pueden desarrollar diferentes dispositivos que son capaces de ayudar a personas en estado de discapacidad con problemas de asterognosia (dificultad de reconocimiento de objetos a través del tacto), apraxias (control del movimiento voluntario), heminegligencia contralateral (ignora la parte izquierda del cuerpo y del espacio extrapersonal), etc. De ese modo se mejora la calidad de vida de las personas con este tipo de problemas.

Para diseñar un prototipo háptico de temperatura es indispensable establecer los rangos de trabajo de la celda por medio del sensor de temperatura, pues, de lo contrario, el usuario podría sufrir lesiones en la piel debido a que la celda cambia de temperatura rápidamente.

Una desventaja que se encontró en el prototipo es el alto consumo de corriente por parte de la celda de Peltier, pues esta trabaja a 12V (DC) y 6A. Y esto podría ser un factor de riesgo eléctrico para el usuario.

## Bibliografía

- Jover, J. L. (1992). Tacto inteligente: el papel de las estrategias de exploración manual en el reconocimiento de objetos reales. *Anales de Psicología*, 8(1-2), 91-102.
- Pereira, E. M., Rueda, F. M., Diego, I. A., De la Cuerda, R. C., De Mauro, A. y Page, J. M. (2014). Use of virtual reality systems as proprioception method in cerebral palsy: clinical practice guideline. *Neurología (english edition)*, 29(9), 550-559.
- Banzi, M. (2011). *Getting started with Arduino*. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.
- Gibb, A. M. (2010). *New media art, design, and the Arduino microcontroller: A malleable tool* (tesis doctoral, Pratt Institute, Nueva York). Consultado en <http://aliciagibb.com/thesis/>.
- Atmel Corporation. Atmel 8-bit microcontroller. Consultado en [http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P\\_datasheet\\_Summary.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Summary.pdf).
- Sandoval, A. P., Espinosa, E. y Barahona, J. L. (2007). Celdas Peltier: una alternativa para sistemas de enfriamiento con base en semiconductor. Reporte técnico, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Consultado en <http://www.utm.mx/~mtello/Extensos/extenso020709.pdf>.
- Liu, C., Ren, W., Zhang, B. y Lv, C. (2011, agosto). *The application of soil temperature measurement by LM35 temperature sensors*. International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, Harbin, Heilongjiang, China.