

# Controlador

# MIDI por campo eléctrico

Recibido: junio de 2012  
Arbitrado: agosto de 2012

Mijail A. Posada G.\*; Germán Yamhure K.\*\*

## Resumen

La idea de asociar eventos musicales con movimientos de extremidades o gestos corporales es un elemento deseado buscado por artistas, músicos, ingenieros y productores. El campo eléctrico brinda una alternativa para desarrollar un sistema de control, donde no es necesario el contacto físico con el dispositivo para controlar un evento. Por medio del uso de nuestro cuerpo como un elemento dieléctrico es posible alterar las propiedades físicas de un campo eléctrico y asociar dichos cambios a una función específica en protocolo MIDI (Musical Instrument Digital Interface), el cual lo hace muy útil para realizar cualquier evento musical, que va desde aplicaciones musicales de entusiastas hasta aplicaciones profesionales.

## Palabras clave

Sensor, electrodos, campo eléctrico, controlador MIDI.

## Abstract

The idea to associate musical events with movements of extremities or corporal gestures is desired element looked by artists, musicians, engineers and producers. The electric field offers an alternative to develop a system controller, where the physical contact is not necessary with the device to control an event. By means of use of our body as a dielectric element, it is possible to alter the physical properties of an electric field and to associate the changes of it to a specific function in MIDI protocol

(Musical Instrument Digital Interface), which is very useful to realize any musical event, that goes from amateur to professional applications.

## Keywords

Sensor, electrode, electric field, MIDI controller.

## I. Introducción

En el ámbito musical, las nuevas formas de expresión de los artistas han estimulado a científicos e ingenieros a construir y a desarrollar nuevas herramientas que aprovechen las sensaciones del intérprete al capturar sus gesticulaciones corporales [1]. Una forma de sentir la música es por medio del movimiento de las manos, y una manera de interpretarla podría ser con el simple movimiento de estas [2].

A lo largo de la historia se han inventado diversos dispositivos electrónicos de control que permiten manipular un determinado sistema mecánico y/o electrónico. Entre algunos claros ejemplos podemos destacar el control remoto de la TV, el Theremin [3] como instrumento musical, el «Wii-remote» [4] de la compañía Nintendo o los guantes-casco empleados en la realidad virtual [5]. Todos estos dispositivos, los cuales fueron innovación en su época y algunos aún lo son, presentan comodidades

\* Magíster en Ing. de Sonido, Ingeniero Electrónico, Profesor, U. Javeriana. [emposada@gmail.com](mailto:emposada@gmail.com)

\*\* Magíster en Ing. de Sonido, Ingeniero Electrónico, Profesor U. Javeriana. [gyamhure@javeriana.edu.co](mailto:gyamhure@javeriana.edu.co)

a la hora de manipular un sistema pero también pueden presentar limitantes, que van desde una interfaz poco intuitiva, escasos grados de libertad de movimiento, hasta factores como precio elevado, incomodidad de uso, peso y dimensiones no toleradas.

El controlador MIDI por campo eléctrico busca aprovechar las sensaciones del artista por medio del movimiento de las manos, al capturar la posición de estas y convertirlo en eventos musicales en tiempo real. Los eventos musicales son procesados digitalmente y transmitidos en lenguaje MIDI, el cual es un protocolo internacional utilizado para aplicaciones musicales y de audio. Este formato permite que el sistema pueda ser utilizado en aplicaciones profesionales tales como en un estudio de grabación, en donde el ingeniero podría controlar eventos particulares con el movimiento de sus manos para una mejor sensibilidad a la hora de mezclar y/o editar.

El diseño del controlador y arreglo de electrodos/sensores es esencial para la facilidad de operación y correcta expresión por parte del usuario o artista, según la aplicación final. En el proyecto se desarrolla un arreglo de electrodos/sensor que detecta la posición de la mano del intérprete o usuario para controlar diversos parámetros de carácter musical.

El sistema permite al usuario controlar o modificar varios eventos musicales con el simple movimiento de la mano, tales como el cambio de tonalidad, intensidad del volumen, panning<sup>1</sup> y modulación en frecuencia entre otros. El sistema también es compatible con cualquier equipo o dispositivo electrónico MIDI, lo cual hace posible que sea utilizado junto con un computador personal con puerto MIDI o por medio de una interfaz MIDI.

## II. Principio de funcionamiento

El principio básico de funcionamiento del sistema de control por campo eléctrico consiste en generar una diferencia de potencial entre dos placas metálicas de tal manera que se cree un campo eléctrico

circulante entre ellas y así formar un condensador como se muestra en la figura 1.

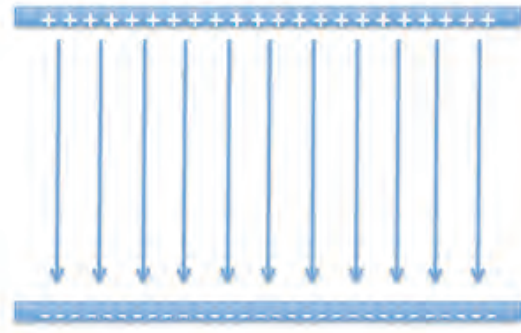


Figura 1. Campo eléctrico entre dos placas de un condensador.

Como existe una carga almacenada y una diferencia de potencial entre la placas también se obtiene un valor de capacitancia, el cual puede cambiar dependiendo de los diversos factores que la conforman y como se puede observar de la ecuación (1).

$$C = AK\epsilon_0 / D \quad (1)$$

Donde:

C es la capacitancia,

A es el área de las placas,

D es la separación entra las placas,

K representa la constante dieléctrica,

y  $\epsilon_0$  es el valor de la permitividad en el vacío ( $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  F/m). [5]

El cuerpo humano está compuesto principalmente de agua que tiene una alta constante dieléctrica [7], lo cual lo hace un buen elemento dieléctrico y por lo cual puede alterar el flujo de campo eléctrico entre las placas del condensador. De esta manera se logra variar la capacitancia total del sistema y así poder asociar dichos cambios o alteraciones a una variable o variables a modificar y medir.

1 Control de volumen panorámico entre los canales izquierdo y derecho de un sistema estereofónico.

Uno de los dispositivos electrónicos capaz de medir los cambios producidos en el campo eléctrico que forman las placas de un condensador (electrodos) y traducirlos a una tensión diferente de salida es el chip de Freescale Semiconductor MC33794<sup>2</sup> [8].

En la figura 2, se muestra el principio de operación para medir las variaciones de capacitancia del sistema [9]. El integrado genera una señal sinusoidal de alta frecuencia de 120 kHz, 5 voltios pico a pico con mínimo contenido armónico. Esta señal pasa a través de una resistencia y las placas de un condensador (electrodos), donde al acercar un objeto entre las placas del condensador, la capacitancia total varía dando como resultado un nivel de tensión diferente, el cual es detectado y medido para un procesamiento posterior.

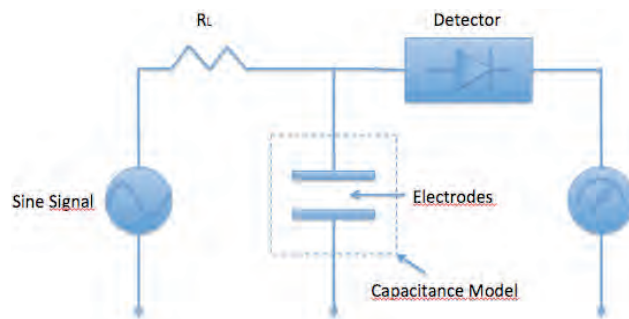


Figura 2. Esquema general del módulo de generación y detección de señal.

El nivel detectado es inversamente proporcional a la capacitancia como se observa en la ecuación 2.

$$C = Q/V \quad (2)$$

Donde:

C es la capacitancia,

Q es la carga

y V es la tensión. [6]

### III. Análisis y simulación del sistema

Es importante conocer cómo se comporta el campo eléctrico que circula entre de las placas del condensador (electrodos) y cómo se ve afectado al

variar la disposición de estos. Así mismo, es importante conocer la capacitancia total del sistema que forman los electrodos y el cómo esta capacitancia varía al introducir un objeto dieléctrico en el flujo de campo eléctrico que forman las placas del sistema condensador (electrodos).

Para el análisis del comportamiento del campo eléctrico existen varias herramientas y aplicaciones de simulación de elementos finitos para electromagnetismo, que permiten obtener información acerca de la dirección y sentido del campo, así mismo cómo determinar la capacitancia total de un sistema. Para este propósito se utilizó el software Quick Field<sup>3</sup> (Student's version) que permite simular campos electrostáticos bidimensionales [10].

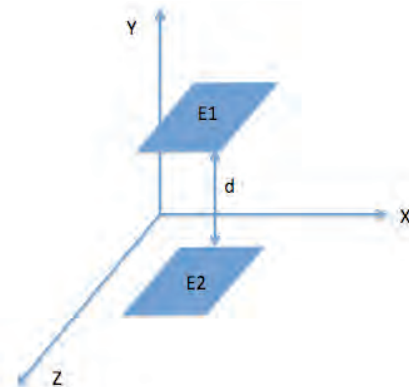


Figura 3. Electrodos dispuestos verticalmente y separados una distancia d.

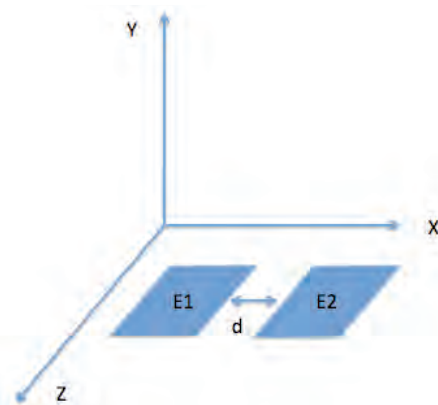


Figura 4. Electrodos dispuestos horizontalmente y separados una distancia d.

2 Dispositivo electrónico de campo eléctrico desarrollado por Freescale (formerly Motorola Semiconductor Product Sector).

3 Software de análisis de elementos finitos para electromagnetismo. Más información acerca del software en [www.quickfield.com](http://www.quickfield.com).

Se realizó una simulación de dos electrodos (placas del condensador) dispuestos verticalmente y horizontalmente para observar la distribución del campo eléctrico (figuras 3 y 4). En donde «E1» hace de electrodo activo (alimentado por una fuente de 5 volts), mien-

tras que el otro electrodo «E2» es conectado a tierra.

En las figuras 5 y 6 se puede observar la dirección y sentido del campo eléctrico de un arreglo de electrodos dispuestos verticalmente y horizontalmente.

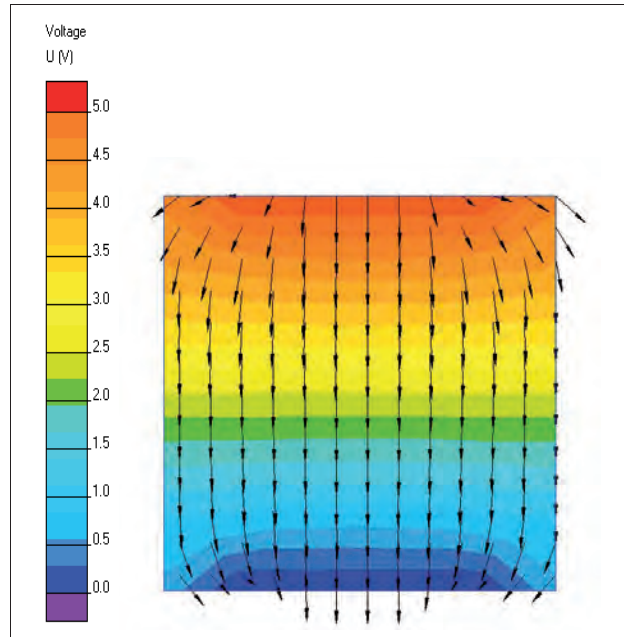


Figura 5. Distribución de campo eléctrico de un arreglo de electrodos dispuestos verticalmente.

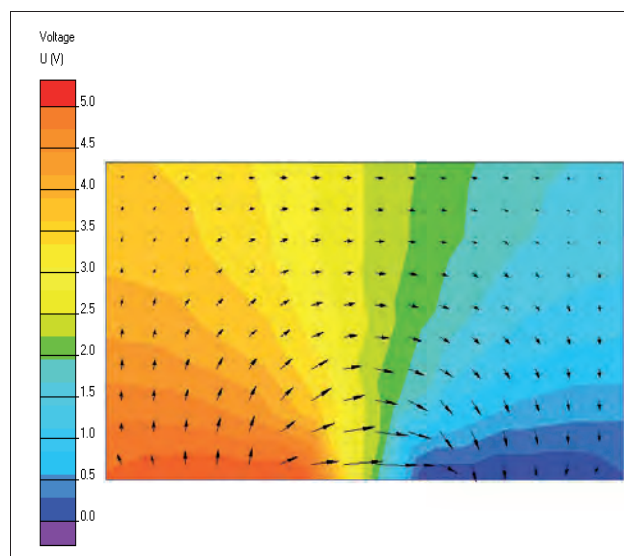


Figura 6. Distribución de campo eléctrico de un arreglo de electrodos dispuestos horizontalmente.

En la figura 5 se observa que la distribución del campo eléctrico presenta una forma vertical, mien-

tras que en la figura 6 la distribución del campo adquiere una forma circular entre los electrodos.

Para la simulación se emplearon dos placas de 6 cm de longitud dispuestas verticalmente y separados 10 cm, mientras que para el segundo caso se dispusieron dos placas horizontalmente separadas 3 cm como indican las figuras 3 y 4.

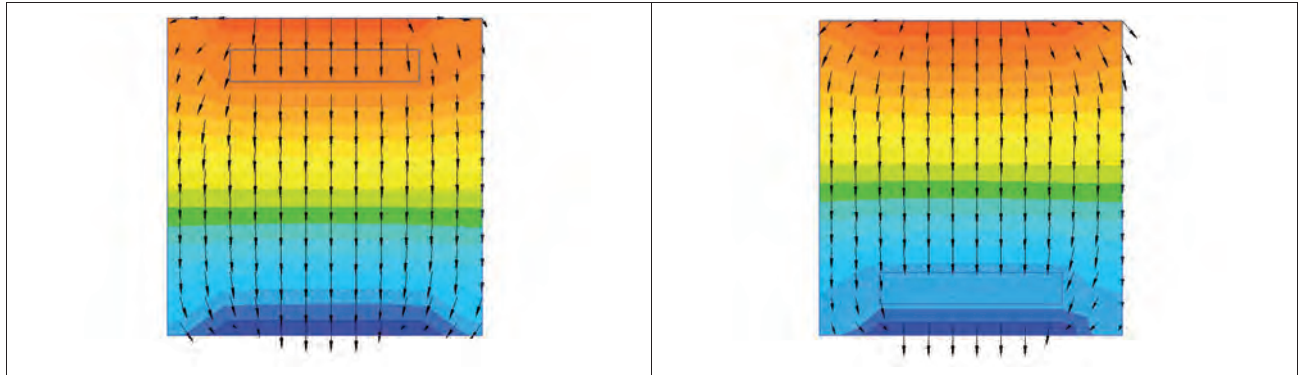


Figura 7. Distribución de campo eléctrico de un arreglo de electrodos dispuestos verticalmente con material dieléctrico.

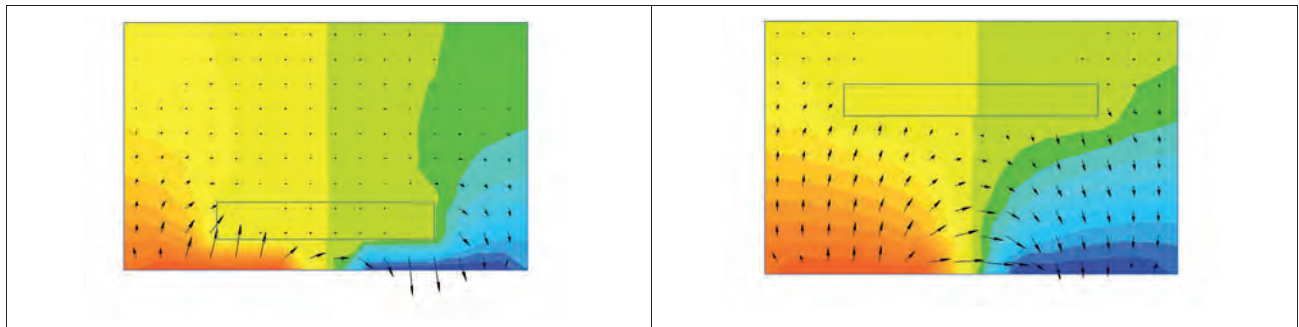


Figura 8. Distribución de campo eléctrico de un arreglo de electrodos dispuestos horizontalmente con material dieléctrico.

En las figuras 7 y 8, se muestra la distribución del campo eléctrico en presencia de un material dieléctrico en diferentes posiciones. El material dieléctrico que se empleó en la simulación posee unas dimensiones de 6 x 1 cm con una constante dieléctrica igual a 80.

En la tabla 1 se muestra la capacitancia obtenida para los diferentes arreglos de electrodos, con y sin material dieléctrico en diferentes ubicaciones.

Arreglo Electrodo	Posición Dieléctrico (cm) Altura (Y)	Capacitancia (F)
Vertical	Sin Dieléctrico	7.293e-012
Vertical	1	7.357e-012
Vertical	5	7.595e-012
Vertical	9	8.038e-012
Horizontal	Sin Dieléctrico	6.363e-012
Horizontal	9	6.412e-012
Horizontal	5	7.009e-012
Horizontal	1	11.289e-012

Tabla 1. Capacitancia que presenta el sistema con y sin dieléctrico en diferentes ubicaciones.



En la tabla 1 se puede observar que mientras más cercano esté el material dieléctrico al electrodo activo, mayor capacitancia presentará el sistema.

## IV. Diseño e interacción del controlador

El diseño del controlador es importante para obtener una operación ergonómica con la forma de expresión del artista u operador del (ej: movimiento de la manos). La forma, el tamaño y separación de los electrodos son algunos de los factores a considerar para dicho diseño.

En la tabla 2 se muestran diversos valores típicos de algunos elementos que pueden ser usados como objetos de interacción con el sistema. Y como es notado en la ecuación (1), entre mayor sea la constante dieléctrica de un material, mayor será la capacitancia del arreglo. [6]

Material	Permitividad Relativa ( $\epsilon$ )
Aire	1,0006
Vacio	1
Papel	2,5
Porcelana	6
Mica	5
Agua	80
Baquelita	7
Teflón	2
Vidrio	7.5

Tabla 2: Permitividad relativa del material

Dentro de los objetos a interactuar con el sistema hay que destacar la mano humana, ya que además de estar compuesta de diversos compuestos químicos, el cuerpo humano contiene una buena cantidad de agua, cuya constante dieléctrica elevada hace que la mano humana sea un buen elemento de control por sí sola, sin necesidad de guantes u otro elemento adicional para interactuar con el sistema. Claro está que hay que tener en cuenta que cada mano es di-

versa de una persona a otra, y por ende también su constante dieléctrica.

Para las primeras pruebas del modelo capacitivo, se utilizaron dos placas conductoras (electrodos) de 20 cm x 15 cm enfrentadas cara a cara en posición vertical como se muestra en la figura 3, con una separación entre ellas de 30 cm sobre el eje «Y».

Se utiliza la mano humana como objeto a sensor por el sistema (mano abierta y dedos juntos) tomando como referencia el punto central de la palma como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Coordenada de referencia del objeto a sensor (punto central de la palma de la mano).

Las mediciones se realizaron utilizando la tarjeta demostración MC56F8300DSK [11] de Motorola, la cual contiene un conversor análogo digital en su DSP MC56F8323 [12] e incluye el circuito integrado MC33794 en la misma.

De acuerdo a la posición de la mano entre las placas del sistema (electrodos E1 y E2), se toman lecturas del nivel detectado en el modelo capacitivo, teniendo como placa activa el electrodo «E1» y luego el electrodo «E2».

En las tablas 3 y 4 se muestran las lecturas detectadas por el conversor análogo digital en el modelo capacitivo al desplazar una mano humana (Largo 19 cm, Ancho 10 cm, Grosor 3 cm) verticalmente por el sistema (palma de la mano en orientación paralela y perpendicular a las caras de los electrodos).

Las lecturas del conversor análogo digital (ADC) son tomadas en valores de 16 bits (16 Bit Word) el cual realiza la conversión del valor de tensión detectado como lo indica la ecuación 3. [12]

$$\text{Word Value} = V_{in}/V_{ref} \times 32760 \quad (3)$$

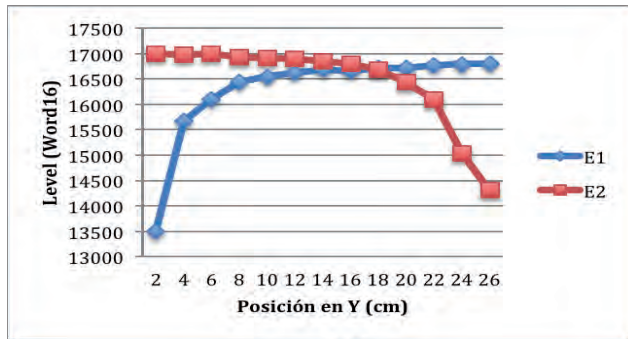
Posición Objeto Altura (cm)	E1 (16Bit Word)	E1 (Volts)	E2 (16Bit Word)	E2 (Volts)
Sin dieléctrico	16799	2.564	17021	2.598
2	13499	2.060	16991	2.593
4	15666	2.391	16979	2.591
6	16092	2.456	16994	2.594
8	16437	2.509	16931	2.584
10	16545	2.525	16917	2.582
12	16614	2.536	16902	2.580
14	16689	2.547	16848	2.571
16	16658	2.542	16799	2.564
18	16716	2.551	16683	2.546
20	16722	2.552	16440	2.509
22	16769	2.559	16092	2.456
24	16790	2.563	15035	2.295
26	16798	2.564	14315	2.185

Tabla 3: Datos posición objeto con electrodos 1 y 2 activos (Palma de la mano en orientación paralela).

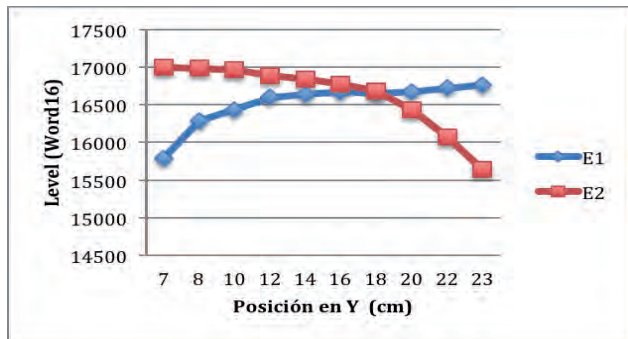
Posición Objeto Altura (cm)	E1 (16Bit Word)	E1 (Volts)	E2 (16Bit Word)	E2 (Volts)
Sin dieléctrico	16765	2.559	17018	2.597
7	15789	2.410	17006	2.596
8	16290	2.486	16989	2.593
10	16437	2.509	16972	2.590
12	16601	2.534	16894	2.578
14	16643	2.540	16844	2.571
16	16674	2.545	16776	2.560
18	16661	2.543	16691	2.547
20	16675	2.545	16438	2.509
22	16728	2.553	16078	2.454
23	16769	2.559	15644	2.388

Tabla 4: Datos posición objeto con electrodos 1 y 2 activos (Palma de la mano en orientación perpendicular).

Las gráficas 1 y 2 muestran el comportamiento del sistema presentado en las tablas 3 y 4.



Gráfica 1: Comportamiento del sistemas al desplazar un objeto (Palma de la mano en orientación paralela).



Gráfica 2: Comportamiento del sistemas al desplazar un objeto (Palma de la mano en orientación perpendicular).

En las gráficas 1 y 2, se puede ver que el conjunto de muestras se comporta de manera similar en ambos casos. Sin embargo, en la gráfica 1 se observa que al desplazar la mano en orientación paralela a las placas del sistema, existe un área mayor enfrentada a las mismas, por lo que los valores de las muestras detectadas por el ADC presentan una excursión mayor.

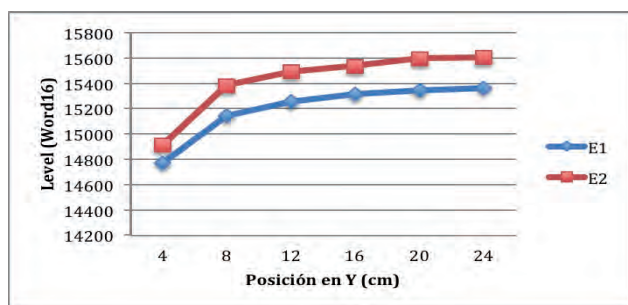
Como segundo modelo se posicionaron dos electrodos (20 cm x 15 cm) sobre un plano horizontal y separados 3 cm entre sí, como se ilustra en la figura 4.

Nuevamente se toman muestras del nivel detectado en el modelo capacitivo, al desplazar la mano verticalmente sobre el eje «Y» entre los electrodos (tomando como referencia el punto central de la mano y en posición paralela a la cara de las placas).

En la tabla 5 se muestran los valores obtenidos y en la gráfica 3 se ilustra el comportamiento del sistema.

Posición Objeto Altura (cm)	E1 (16Bit Word)	E1 (Volts)	E2 (16Bit Word)	E2 (Volts)
	15416	2.353	15625	2.385
24	15363	2.345	15603	2.381
20	15344	2.342	15595	2.380
16	15317	2.338	15537	2.371
12	15257	2.329	15491	2.364
8	15145	2.312	15382	2.348
4	14772	2.255	14912	2.276

Tabla 5: Datos posición objeto con electrodos 1 y 2 activos (Palma de la mano en orientación paralela).



Gráfica 3: Comportamiento del sistema al desplazar un objeto (Palma de la mano en orientación paralela).

En la gráfica 12 se observa que tanto para el electrodo 1 y el electrodo 2, cuando el objeto (dieléctrico) se acerca al electrodo activo, el nivel detectado en el modelo capacitivo disminuye, lo cual indica un incremento en la capacitancia como se describe en la ecuación 2.



## V. Interacción MIDI

Las siglas MIDI están por «Musical Instrument Digital Interface» y es un lenguaje digital de comunicación que se utiliza para interconectar dispositivos musicales electrónicos.

### Protocolo MIDI

El protocolo MIDI consta de un conjunto de normas y una sintaxis que se deben cumplir para que un equipo con capacidades MIDI funcione correctamente. Su transmisión se genera «en serie» a una velocidad de 31.250 bits/segundo.

Una «palabra MIDI» consta de diez bits; un bit de inicio, ocho bits de datos y un bit de final de palabra. Los ocho bits de datos conforman un «byte de estado» o un «byte de información». El «byte de estado» representa que clase de instrucción se va a llevar a cabo y el «byte de información» representa el valor de la instrucción implementada.

Los bytes de estado o información se distinguen por el bit más significativo 'MSB' (Most Significant Bit); '1' si es un byte de estado o '0' si es un byte de información. Los siete bits restantes pueden tomar 128 ( $2^7$ ) valores distintos como se observa en las figuras 10 y 11.

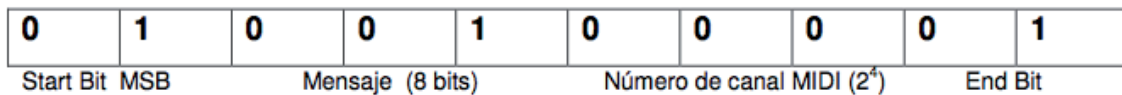


Figura 10. Representación de la trama «Status byte».

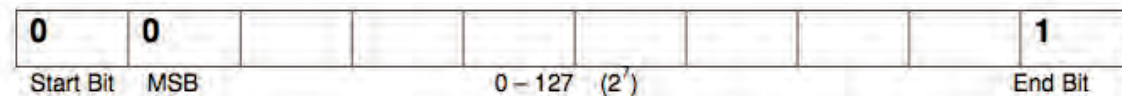


Figura 11. Representación de la trama «Data byte».

Para que exista un «mensaje MIDI» debe haber un «byte de estado» acompañado de uno o más «bytes de información». [13]

## VI. Funcionamiento del sistema

El funcionamiento del sistema completo se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 12.

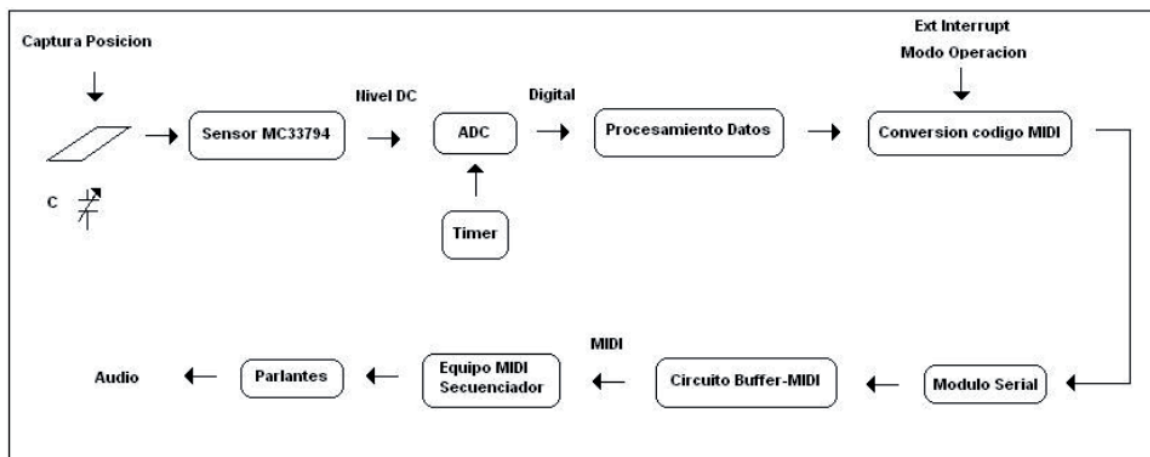


Figura 12. Diagrama de flujo del sistema.

Por medio de las manos, el usuario interactúa con el campo eléctrico que es generado por el sensor para producir eventos musicales tales como cambio de tonalidad e intensidad de una nota musical entre otros.

Antes de realizar las lecturas, el sistema se calibra tomando muestras por electrodo del entorno actual, para posteriormente procesar los eventos del usuario con base en dichas lecturas.

La señal DC es procesada por medio del ADC y convertida en una señal digital, la cual se procesa para asociarla a un evento MIDI. A su vez el ADC está regido por el TIMER el cual le dice a este, cada cuanto debe tomar las lecturas.

Una vez determinado el evento MIDI, la señal se organiza para ser enviada por el módulo serial siguiendo las normas del protocolo MIDI. La señal MIDI luego es pasada por un buffer para evitar efectos de impedancia al interconectar el sistema con otros dispositivos electrónicos.

Posteriormente, los datos son transmitidos a un equipo MIDI en donde son reproducidos y/o editados. Las señales son procesadas en tiempo real y en formato digital.

## VII. Implementación del sistema

Basados en las pruebas anteriores, se implementaron dos módulos de sensado para interactuar con el usuario y asignar parámetros de control basados en la ubicación del objeto a sensar (mano del usuario).

El primer módulo de sensado consta de dos electrodos (15 cm x 10 cm) posicionados verticalmente, enfrentados cara a cara y separados 20 cm como se observa en la figura 16 «MS1», mientras que el segundo arreglo consta de dos electrodos (10 cm x 7.5 cm) posicionados horizontalmente y separados 3 cm como se observa en la figura 17 «MS2».

Al introducir y/o desplazar la mano del usuario sobre los electrodos, el campo eléctrico se modifica y dichas variaciones son capturadas por el sensor y convertidas a una señal DC para luego ser procesadas a eventos MIDI.

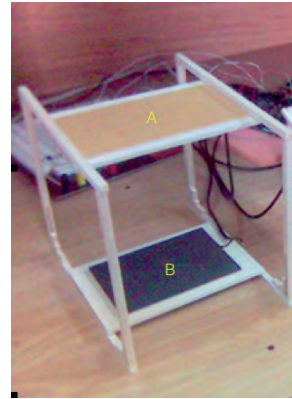


Figura 13. Arreglo de electrodos posicionados verticalmente (MS1).



Figura 14. Arreglo de electrodos posicionados horizontalmente (MS2).

### Módulo de sensado ms1

La interacción del usuario con el MS1 se realiza de manera vertical como lo muestra la figura 18.

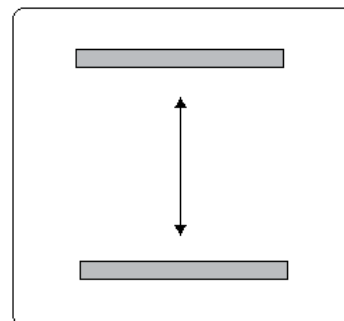


Figura 15. Modo de interacción del MS1.

Se designaron siete diferentes puntos de interacción para el módulo de sensado 1 (ver figura

16), donde seis corresponden a la interacción de la mano del usuario dentro del campo de acción del arreglo y un séptimo, donde el usuario no contiene la mano dentro del campo de acción del sensor.

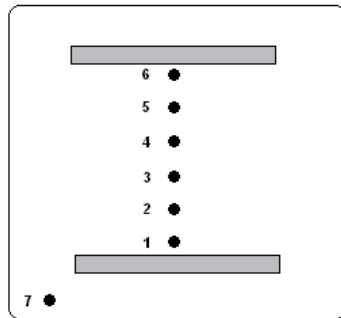


Figura 16: Puntos de interacción del MS1.

### Módulo de sensado MS2

La interacción del usuario con el MS2 se realiza también de manera vertical con dos puntos de ubicación diferentes como se muestra en la figura 17.

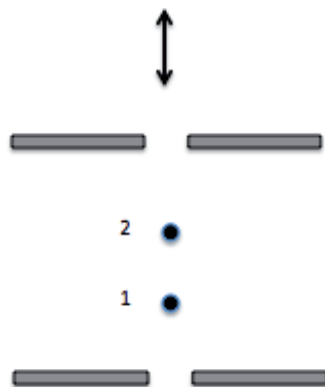


Figura 17: Puntos de interacción del MS2.

Por medio de los módulos de sensado MS1 y MS2 es posible designar varios parámetros de control para generar eventos MIDI con diferentes aplicaciones.

El módulo de sensado MS1 puede controlar diversos parámetros por medio del lenguaje MIDI, como lo son los «Control Change Messages», tales como como: Bank Select, Modulation Wheel, Channel Volume y el PAN entre otros.

- Channel Volume: Controla la intensidad de un canal o una nota.
- PAN Mode: Controla el volumen panorámico de los canales estereo L y R
- Bank Select: Cambia entre distintos tipos de instrumento.
- Modulation Wheel: Modula en frecuencia o amplitud de una nota o canal.

Con el módulo de sensado MS2 es posible controlar eventos ON/OFF por medio del lenguaje MIDI, tales como la activación y desactivación de una nota (Note ON/ Note Off), o mensajes de control de dos estados (Footswitch On/Off). [14]

Por medio del uso y/o combinación de los arreglos MS1 y MS2, es posible realizar diversos tipos de controladores MIDI en donde no hay contacto físico del controlador con el usuario y/o intérprete. Las aplicaciones pueden ir desde el control de luces en un espectáculo, la interpretación o simulación de instrumentos musicales, hasta la automatización de cualquier parámetro en diferentes campos.

## VIII. Análisis del desempeño del sistema

Para el arreglo de electrodos «MS1» se obtuvieron las siguientes muestras leídas por el conversor análogo digital al ubicar un objeto dieléctrico (mano humana -> Largo 19 cm, Ancho 10 cm, Grosor 3 cm.) entre el campo de acción de este. (Tabla 6).

Posición Objeto Altura (cm)	E <sub>A</sub> (16Bit Word)	E <sub>B</sub> (16Bit Word)
	17938	17566
1	8129	17248
3	15165	17360
5	16254	17295
7	16861	17115
9	17069	17108
11	17275	16931

Esta tabla continúa en la siguiente página →

Posición Objeto Altura (cm)	$E_a$ (16Bit Word)	$E_b$ (16Bit Word)
13	17352	16697
15	17429	16361
17	17466	15479
18	17505	11117

Tabla 6: Muestras ADC de la posición del objeto en MS1.

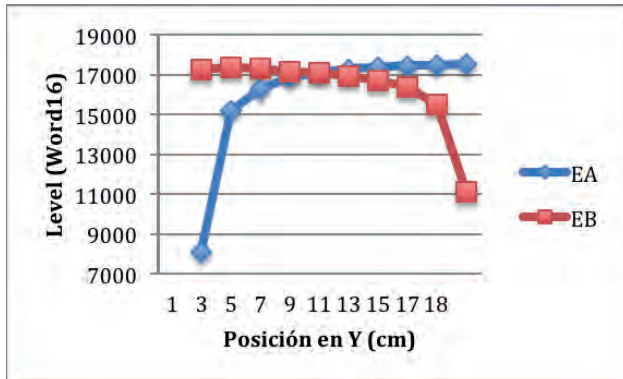


Figura 18: Muestras ADC de la posición del objeto en MS1.

Posición Objeto Altura (cm)	Usuario 1 (16 Bit Word)	Usuario 2 (16 Bit Word)	Usuario 3 (16 Bit Word)
	18416	18375	18348
16	18317	18331	18273
12	18257	18268	18181
8	18145	18139	18098
4	17772	17954	17652
2	15407	15549	15332

Tabla 6: Muestras ADC de la posición del objeto en MS1.

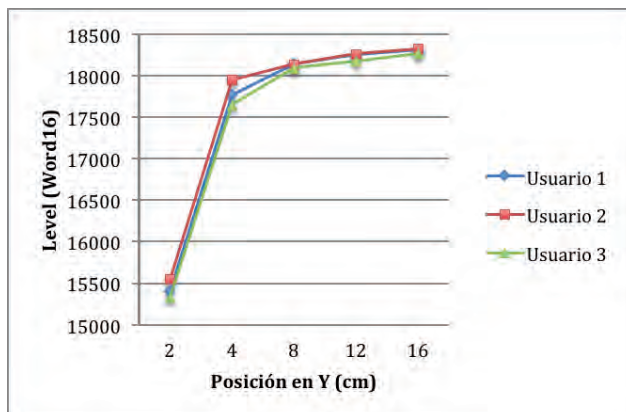


Figura 19: Gráfica comparativa de muestras tomadas para el electrodo E, con diferentes intérpretes.

En la figura 18, se muestra que efectivamente al acercarse el objeto dieléctrico al electrodo activo, el sistema presenta una caída en el nivel detectado por el conversor análogo digital, lo que indica que existe un aumento de capacitancia en el modelo.

Para el arreglo de electrodos «MS2» se realizaron muestras ubicando el objeto a sensar a diferentes altura entre los electrodos «E y F», con diferentes usuarios (mano del usuario con diferentes dimensiones).

- Usuario 1: Largo 19 cm, ancho 10 cm, Grosor 3 cm.
- Usuario 2: Largo 18,5 cm, Ancho 10 cm, Grosor 3 cm.
- Usuario 3: Largo 19 cm, Ancho 10,5 cm, Grosor 3,5 cm.

En la gráfica 19 se observa bastante similitud en los valores capturados por el sistema en las diversas posiciones del objeto, lo cual implica que el sistema puede ser utilizado por diferentes usuarios sin alterar la respuesta deseada del sistema.

También se evidencia que el usuario 3 presentó la mayor capacitancia detectada por el sistema mientras que el usuario 2 presentó la menor capacitancia detectada, comprobando efectivamente que el usuario 3 posee mayor masa (constante dieléctrica) que el resto de los usuarios y el usuario 2 la menor masa.

## IX. Conclusiones

Los sistemas o mecanismos de control que permiten ser manipulados por el usuario sin la necesidad de tener un contacto físico directo, poseen diversas ventajas respecto a los sistemas de control tradicionales, así como también ofrecen nuevas posibilidades y nuevas formas de expresión que antes solo imaginábamos o vislumbrábamos en una era futura.

El sistema de control por campo eléctrico nos ofrece una alternativa para lograr una interacción usuario-dispositivo sin tener la necesidad de presionar pulsantes o girar manivelas para dar una serie de comandos. Puede ser controlado por diversos objetos o extremidades corporales como las manos o pies, lo cual lo hace apto para ser empleado en diversos campos y aplicaciones.

Los sensores de campo eléctrico poseen ventajas frente a otros mecanismos de control, como respecto a los sensores ópticos en donde los obstáculos pueden interrumpir la comunicación en los sensores por campo eléctrico.

En este tipo de sistemas es muy importante el diseño y el rango de sensibilidad de los sensores o electrodos que lo componen, ya que son estos los que realmente perciben las variaciones que se presentan dentro de su rango de acción, así como un procesamiento interno adecuado de las señales que recibe el sistema para interpretar correctamente las variaciones detectadas. El sistema puede ser empleado como un sistema de entretenimiento, como un nuevo instrumento musical y como un sistema para aplicaciones profesionales MIDI.

Adicionalmente de los eventos MIDI utilizados en el sistema, se puede ampliar el proyecto utilizando todos los mensajes MIDI existentes.

El sistema no solo es capaz de controlar eventos MIDI, sino adicionalmente otro tipo de eventos, como eventos de ON/OFF y eventos continuos,

que pueden ser aplicados en otras áreas distintas a la aplicación musical.

El uso de una comunicación digital como MIDI y empleada como salida del sistema, permite a este ser compatible con otro tipo de dispositivos electrónicos, extendiendo así, su uso y aplicación.

Dentro de otras aplicaciones cabe destacar efectos en vivo para teatro experimental y manejo de luces.

Las ventajas de utilizar múltiples sensores en un solo sistema brinda la posibilidad de presentar más grados de libertad para la expresión de un artista o usuario, al utilizar ambas manos para su interpretación y hasta otras partes corporales para incrementar la manipulación de diversos parámetros, ya sean de carácter artístico o de simple control.

## Referencias bibliográficas

- [1] J. Paradiso, N. Gershenfeld. «Musical Applications of Electric Field Sensing». *Computer Music Journal*. Draft 1.9. 1996. pp 1-5.
- [2] P. Grzymkowski. «A Study of Gesture-based Electronic Musical Instruments». Cornell University 2001. pp 1-2.
- [3] V. Yurii. «History and design of Russian electro-musical instrument «Theremin»». *AES Convention Paper*. 120th Convention. 2006. pp 1-4.
- [4] J. Lee, J. «Hacking the Nintendo Wii Remote». *IEEE Pervasive Computing*. Vol. 7. 2008. pp 39-40.
- [5] J. Steuer. «Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence». *SRCT. Paper #104*. 1992. pp 1-5.
- [6] R. Boylestad. *Introductory Circuit Analysis*. 9 Edition. Prentice Hall. 1999. pp 377-379.
- [7] Freescale Semiconductor, Application Note «Touch Panel Applications Using the MC33794 E-field IC», [Data Sheet]. Document Number: AN1985/D Rev 0, 12/2003. Disponible online en: [www.freescale.com/](http://www.freescale.com/). [Consulta: 1-05-2010].
- [8] Freescale Semiconductor, Electric Field Imaging Device, [Data Sheet]. Document Number: MC33794, Rev 9, 11/2006. Disponible online en: [www.freescale.com/](http://www.freescale.com/). [Consulta: 1-05-2012].
- [9] Freescale Semiconductor, Electric Field Imaging Device, [Data Sheet]. Document Number: MC34940, Rev 4, 11/2006. Disponible online en: [www.freescale.com/](http://www.freescale.com/). [Consulta: 4-05-2012].
- [10] Tera Analysis Ltd, QuickField, [User's Guide]. Version 5.7, 2009. «Electrostatic Analysis». Disponible online en: [www.quickfield.com/demo/manual.pdf](http://www.quickfield.com/demo/manual.pdf). [Consulta: 1-05-2012].
- [11] Freescale Semiconductor, 56F8300 Demonstration Board, [Data Sheet]. Document Number: MC56F8300DBUM/D, Rev 3.0 09/25/2003. Disponible online en: [www.freescale.com/](http://www.freescale.com/). [Consulta: 4-05-2010].



- [12] Freescale Semiconductor, 56F8300 Peripheral User Manual. Document Number: MC56F8300UM Rev. 6 11/2004. Disponible online en: [www.freescale.com/](http://www.freescale.com/). [Consulta: 5-05-2012].
- [13] J. Rona. The MIDI companion. Hal Leonard Corporation. 1987. pp 25-28.
- [14] MIDI Manufacturers Association, MIDI Messages. Disponible online en: [www.midi.org/techspecs/midimessages.php](http://www.midi.org/techspecs/midimessages.php). [Consulta: 5-05-2012].

## AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a Iván Darío Cuervo Ariza, quien colaboró en el desarrollo del proyecto, como también a los colegas y familiares que brindaron su apoyo en el transcurso del mismo.



**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA BOGOTÁ**

# Carreras Profesionales

- Facultad de Ingeniería
  - ✓ Ingeniería Aeronáutica
  - ✓ Ingeniería de Sonido
  - ✓ Ingeniería Mecatrónica
  - ✓ Ingeniería Electrónica
  - ✓ Ingeniería de Telecomunicaciones
  - ✓ Ingeniería de Sistemas
  - ✓ Tecnología en Mantenimiento y Gestión Electrónica
  - ✓ Tecnología en Programación y Desarrollo de Software
  - ✓ Tecnología en Redes y Comunicación de Datos
  - ✓ Tecnología en Automatización Industrial
  - ✓ Tecnología en Animatrónica y Desarrollo Multimedial
- Facultad de Teología
  - ✓ Licenciatura en Teología (Acreditación de Alta Calidad)
- Facultad de Filosofía
  - ✓ Licenciatura en Filosofía (Acreditación de Alta Calidad)
- Facultad de Psicología
  - ✓ Psicología (Acreditación de Alta Calidad)
- Facultad de Educación
  - ✓ Licenciatura en Educación para la Primera Infancia (Acreditación de Alta Calidad)
  - ✓ Licenciatura en Lengua Inglesa (Modalidad a distancia-virtual)
- Facultad de Ciencias Jurídicas y Políticas
  - ✓ Derecho
  - ✓ Ciencia Política
  - ✓ Relaciones Internacionales
- Facultad de Ciencias Empresariales
  - ✓ Administración de Empresas
  - ✓ Economía
  - ✓ Contaduría Pública