

SISTEMA DE DESARROLLO DE SINESTESIA COLOR-SONIDO PARA INVIDENTES UTILIZANDO UN PROTOCOLO DE AUDIO Versión Final (Tercera Etapa)

AUTORES:

Luis. Córdova, *luiscc_1@hotmail.com*.
Diego. Otárola, *diego.otarola.c@hotmail.com*.
Marvin. Rodríguez, *mrp_rpg@hotmail.com*.

ASESORES:

Ing. Mario. Chauca, *mario_chauca@hotmail.com*.
Phd. Ana. Montero, *amydoig@gmail.com*.

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA - URP

Área Temática: Ingeniería Electrónica

Categoría: Pre-grado

ÍNDICE

Se recomienda seguir el siguiente orden de presentación:

1. Resumen
2. Abstract (resumen en inglés)
3. Introducción
4. Objetivos
5. Desarrollo del trabajo
6. Resultados
7. Conclusiones
8. Recomendaciones
9. Agradecimientos
10. Referencias bibliográficas
11. Apéndice
12. Anexos

1. RESUMEN

Este sistema es un prototipo que permite a la persona invidente asociar colores a notas musicales aprovechando la capacidad de sinestesia, sustituyendo la falta de percepción visual con el sentido del oído, ya que se reconoce a estos sentidos como elementos cooperantes entre ellos. Este prototipo trabaja gracias a cuatro etapas, una etapa que emplea un sensor que realiza la parte de reconocimiento del color, una etapa de acondicionamiento de la variable física color y comparación de la señal de voltaje, una etapa de procesamiento, y finalmente la etapa de audio y amplificación, donde la señal será asociada a una nota musical específica de acuerdo a una lógica (protocolo de

audio), permitiendo a la persona invidente aumentar sus capacidades de percepción y mejorar su calidad de vida.

Palabras clave: Prototipo, Sinestesia, Protocolo de audio, Sensor de Color.

2. ABSTRACT

This is a prototype system that allows the blind person associating colors to musical notes upon the capacity of synesthesia, replacing the lack of visual perception with the sense of hearing and recognizing these senses as elements

cooperating with each other. This prototype works through four stages, a stage that uses a sensor that performs the recognition of color, a conditioning step of the physical variable color and comparing the voltage signal, a processing stage, and finally the stage Audio and amplification, where the signal is associated with a specific musical note according to a logical protocol (sound), allowing a blind person perception abilities increase and improve their quality of life.

Key words: Prototype, Synesthesia, Sound Protocol, Color Sensor.

3. INTRODUCCIÓN

La manera en que adquirimos un conocimiento no solo tiene que ver con los estímulos que recibimos del exterior y del medio que nos rodea, sino de la interpretación que le damos y el orden a esos conocimientos captados. A través de nuestros sentidos captamos diferentes sensaciones que podemos llamar vivencias humanas como olores, sabores, formas, colores, etc. Cuando a estas sensaciones entran a nuestro cerebro, se procesan, son comparadas con experiencias pasadas y les damos una interpretación, a esto llamamos percepción. Estas vivencias humanas percibidas se van acumulando de manera personal en cada sujeto de forma individual y así es como logramos el aprendizaje [1].

El color representa uno de los aspectos más importantes y condicionantes de la realidad que nos rodea, tiene la gran capacidad de impresionarnos y de crear significados y valores simbólicos [2]. El color tiene una inmensa afinidad con las emociones, usado desde la antigüedad por las personas con fines expresivos de arte, cultura, acciones de la vida cotidiana, etc. Como se puede apreciar en los huacos y textiles de culturas pre-incas peruanas u otras culturas a nivel mundial e incluso en pinturas rupestres de culturas más antiguas. Esta idea descrita anteriormente, nos muestra que el color está asociado a conceptos como por ejemplo, emplear textiles con ciertos colores o cantidad de colores para destacar jerarquías dentro de la sociedad.

En la psicología de los colores nos indican que el color actúa directamente con los sentimientos, y que lo hace según la posición en que este situado el en una escala de frío-calor. Los colores como el rojo, naranja, amarillo, etc., nos da la sensación de calidez, motivación y llama a la acción, en cambio los colores como el azul, el verde, etc., nos da la sensación de frío, distanciamiento, relajación y tranquilidad.

También se asocian los colores a conceptos que forman parte de nuestra vida cotidiana ya sean sentimientos,

vivencias; en nuestro país relacionamos el color rojo para el amor o el verde a la esperanza y en el caso de vivencias, se toma el color negro como símbolo de luto y el blanco como el color de la paz. Tomando en cuenta esto, no se puede negar que ante la percepción de los colores se genera una reacción física y mental.

Al entrar en el campo de la sinestesia vemos que el color se enlaza a otros sentidos aparte de la vista; la sinestesia más frecuente enlaza percepción visual y auditiva. Entonces las palabras, sonidos, incluso notas musicales, logran que una persona que posea esta capacidad evoque en el momento de percibir estos sonidos un color determinado y a la misma vez que se afecte la intensidad emotiva con un aumento de la percepción. Como ya dijimos, cada persona en particular tiene su propio nivel de percepción, por eso hay personas que al escuchar una nota musical evocarán no solo un color, sino también una emoción determinada, olores o sensaciones táctiles.



Figura 1. Persona invidente asociando colores a notas musicales

La sinestesia es una capacidad infrecuente de la percepción en que recibimos un estímulo a través de uno de los sentidos y evocamos simultáneamente la sensación en otro, es decir que asocia diferentes dominios sensoriales; normalmente tiene la característica de ser involuntaria pero también puede ser condicionada, es concreta, de memoria y emocional; para el caso de este proyecto nos basamos en la sinestesia que asocia o une percepciones visuales y auditivas.

Según investigaciones del equipo de científicos de la Universidad de California, apoyan que la sinestesia se debe a la activación cruzada de áreas adyacentes al cerebro encargadas de procesar diferente información sensorial cuya falla está en la conexión de nervios entre estas áreas cuando el cerebro se desarrolla en el útero [3].

El objetivo de las investigaciones realizadas sobre la sinestesia es aplicar la cooperación existente entre los sentidos del oído y la vista, es decir la sinestesia color-sonido, y producir entre ellos condicionamientos recíprocos que logren nuestro propósito. El color asociado al oído es una de las combinaciones más comunes y reconocidas en este campo.

A un nivel puramente sensorial, la música ayuda al invidente a desarrollar la percepción auditiva y le enseña a basar su percepción sobre una secuencia de sonidos. Además la utilización de la música en las ejercitaciones físicas le ayuda a desarrollar el sentido espacial que le falta [4].

La música utilizada como estímulo para comunicar a la persona invidente con el mundo exterior genera en la persona muchos beneficios ya que desarrollaran también sus habilidades musicales, interpretación musical, expresión de sus sentimientos y acrecienta otras áreas del aprendizaje como las del cálculo matemático, relaciones lógico simbólico y habilidades de lenguaje y comunicación.

La característica esencial de la música es despertar sentimientos en las personas, “llegar al corazón”, se dice [5]. En las personas la música, nos lleva a recuerdos o experiencias personales que asociamos a un sentimiento. Varios personajes conocidos en el campo de la música tenían esta capacidad, tal es el caso de Alexander Scriabin, Olivier Messiaen y Kandinsky, compositores famosos. El primero de esta lista incluso relaciono los colores y las notas musicales que el visualizaba.

Siendo la ceguera es una de las mayores discapacidades que enfrenta las personas en nuestra sociedad, con este sistema buscamos una solución a este problema, así un gran número de personas podrán adaptarse con mayor facilidad a la sociedad. Este prototipo que permite a la persona invidente desarrollar y mejorar su percepción asociando colores a notas musicales gracias a la capacidad de sinestesia. Este proyecto trabaja gracias a cuatro etapas, una etapa receptora de señal analógica proveniente de un sensor que realiza la parte de reconocimiento del color, una segunda etapa de acondicionamiento de la variable física color y comparación de la señal de voltaje, una tercera etapa de procesamiento digital para la asignación de valores digitales a valores analógicos correspondientes a la medición de cada color. Y finalmente una cuarta etapa de audio y amplificación, donde la señal será asociada a una nota musical específica de acuerdo a una lógica (protocolo de audio), hemos tomado en cuenta que el nivel de este sonido

sea adecuado y saludable para el oído humano luego realizamos las pruebas, determinación de fallas, el mejoramiento y optimización del circuito y finalmente trabajamos con los sujetos de prueba, tomamos en cuenta todas las variables y analizamos los resultados finales.

Los resultados logran que la persona invidente posea sus capacidades de sinestesia desarrolladas logrando asociar un color a un tono musical, permitiendo comprobar la relación que se da entre ellas y así también el principio de sinestesia, además de mejorar la calidad de vida.

4. OBJETIVOS

Crear el prototipo de un dispositivo usando tecnologías modernas que permita a la persona invidente rehabilitarse y desarrollar su capacidad de sinestesia de tipo color – sonido, de tal manera de que al escuchar una nota musical, pueda asociarla de manera inmediata a un color.

5. DESARROLLO DEL TRABAJO

5.1. Diseño del Sensor

Se realizó el diseño de un sensor de color usando el mismo principio de percepción que el ojo humano. Partiendo de que la luz es una onda electromagnética que al incidir sobre una superficie refleja diferentes longitudes de onda lo que se denomina reflexión selectiva de tipo cromática mediante la cual no se reflejan por igual todas las longitudes de onda sino que hay un predominio de algunas, las cuales son captadas por los fotorreceptores de la retina, y relacionadas por el cerebro con un color determinado. Sabiendo esto se utilizan 3 LEDs de colores primarios, ROJO, VERDE y AZUL (RGB), como fuente de luz y una fotorresistencia como receptor de la luz reflejada desde la fuente.

Ahora la fotorresistencia se ha configurado en serie junto con un potenciómetro, como divisor de tensión como se muestra en la Figura 2, el cual es un arreglo de resistencias en serie que permite utilizar una parte la tensión generada [6].

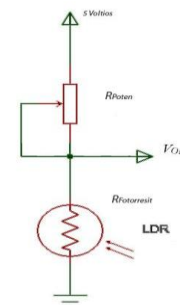


Figura 2. Implementación de la Fotorresistencia como Divisor de Tensión

La implementación mostrada en la Figura 2, obedece a la ecuación (1) y con de fuente $V_{CC} = 5$ voltios y teniendo en cuenta que el valor de la fotorresistencia ($R_{Fotorresist.}$) varía de acuerdo a la intensidad de luz.

$$V_O = V_{CC} \frac{R_{Fotorresist.}}{R_{Fotorresist.} + R_{Poten.}} \quad (1)$$

Lo que permite que, al variar el valor de la fotorresistencia con distintas intensidades de luz reflejada y por lo tanto, una intensidad de luz diferente para cada color, se tendrá un voltaje en ella diferente y correspondiente a cada color.

Si bien pueden presentarse errores en la distinción del color debido a perturbaciones de fuentes de luz adyacentes o iluminación del ambiente, se trata de evitar en lo posible esto poniendo los tres LEDs en puntos equidistantes y la fotorresistencia en el centro de los 3 LEDs como se muestra en la Figura 3, se debe tener en cuenta también que la luminosidad de cada uno de los LEDs es un factor importante, es por eso que se utilizan LEDs del mismo tipo, los denominados "LEDs brillantes".



Figura 3. Sensor de Color

Además, es importante encapsular la fuente de luz y la fotorresistencia con material oscuro o de preferencia negro, ya sea cartón o plástico, con la finalidad de evitar fuentes de luz perturbadoras al sistema e incluso fugas de la misma luz emitida mientras se realice la detección.

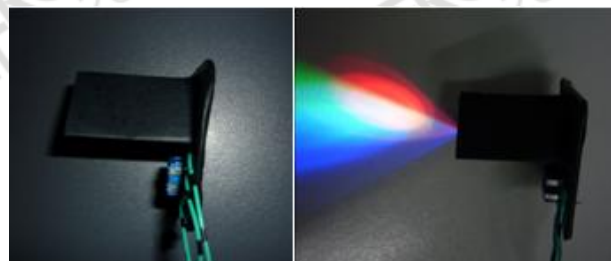


Figura 4. Encapsulado del Sensor de Color

5.2. Conversión ADC

Hacemos uso del módulo ADC del PIC 16F877A para la

asignación de valores digitales a los valores análogos correspondientes a la medición de cada color, se configura el conversor ADC para que asigne a los valores análogos palabras digitales de 8 bits [7], esto quiere decir que el sistema tendrá una resolución de 19.5mV/bit. Determinada por la ecuación (2) y la ecuación (3).

$$Resolución = \frac{V_{Ref}}{2^N} \quad (2)$$

$$V_{Ref} = V_{MAX} - V_{MIN} \quad (3)$$

Teniendo como $V_{MAX} = 5$ voltios, $V_{MIN} = 0$ voltios y de numero de bits $n = 8$ dando esto 256 niveles.

También es importante considerar el tiempo de adquisición (T_{AD}) el cual es el tiempo necesario para obtener el valor digital de la tensión analógica de entrada. Este tiempo depende de la fuente de reloj que se seleccione para la conversión, en nuestro caso un cristal de 4Mhz. Además, para una correcta conversión A/D, el reloj debe seleccionarse para asegurar un tiempo mínimo T_{AD} de 1.6 μ s [8].

Haciendo uso del cristal de 4Mhz (T_{osc}) obtenemos un tiempo de adquisición de 8 μ s lo cual cumple con la condición. Este tiempo se obtiene siguiendo la ecuación (4) y previa configuración del registro ADCON0 del PIC poniendo a 1 lógico el bit ADCS1 y a 0 lógico el bit ADCS0.

$$T_{AD} = 32 * T_{Osc} \quad (4)$$

5.3. Detección del color

Al haber hecho la conversión análoga-digital la detección de color se hará siguiendo la lógica mostrada en el flujograma de la Figura 5 tomando en cuenta los valores máximos de voltajes obtenidos en las mediciones a la salida del sensor para cada color.

El algoritmo de este flujograma, se explica de la siguiente manera. Se compara los valores de la conversión digital de la entrada de RA (voltios), con los valores máximos que experimentalmente se tomaron de cada color para asociar un rango de tolerancia para cada color. Para esto lo que se hace es tomar el valor máximo de voltaje experimental del menor (celeste 2.038 voltios) a mayor (azul 2.53 voltios) en valores digitales que nos da la conversión de 8 bits utilizada; viendo la Tabla II en conversión de bits. Restando el valor máximo con el valor de RA que tomamos con el sensor, podemos asignar al color que pertenece, por ejemplo el valor celeste toma como máximo el valor 2.038 voltios, por lo que a valores menores de 2.038 voltios se asignará celeste; si tomamos un valor de 2 voltios de entrada (RA), en el algoritmo colocamos el valor máximo 2.038 voltios menos el valor sentido 2 voltios, obtendríamos 0.038 voltios, es decir un valor positivo; pero si sentimos un valor mayor a 2.038 voltios, por ejemplo 2.5 voltios y aplicamos el algoritmo

2.038 - 2.5 obtendríamos - 0.462 voltios, es decir un valor negativo lo que en digital asignaremos un valor de acarreo. Al pasar esto inmediatamente designaremos que no es celeste y comparamos con el siguiente valor de voltaje, viendo en la Tabla II correspondería a 2.052 voltios. Si tampoco nos da un valor positivo seguimos hasta obtenerlo, así asignaremos cada valor de voltaje con cada color.

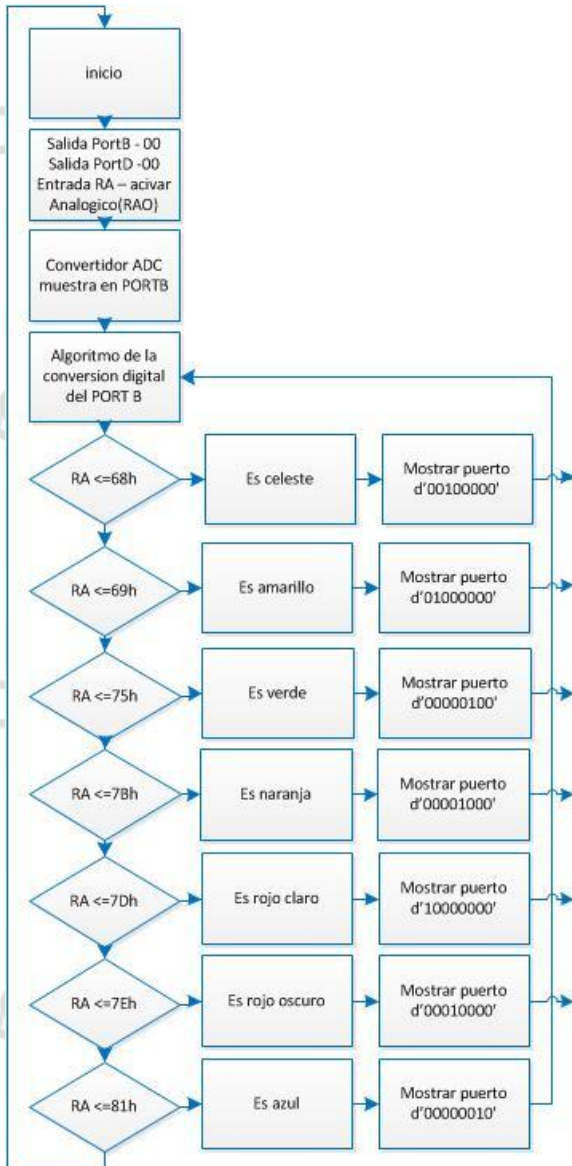


Figura 5. Flujograma del programa de detección de color

5.4. Asignación de color a la nota

Existen estudios realizados a lo largo de los años de la relación que existe entre color y sonido por distintos personajes desde Isaac Newton hasta Steve Zieverink, la escala de colores y notas musicales correspondiente a cada personaje y época se pueden observar en la Figura 6.

		C	CH	D	D#	E	F	F#	G	GH	A	A#	B
Isaac Newton	1704	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Purple	Pink	Grey	Black	White	Light Blue	Light Green
Louis Bertrand Castel	1734	Dark Blue	Teal	Green	Yellow	Orange	Red	Pink	Purple	Black	White	Light Blue	Light Green
George Field	1815	Dark Blue	Purple	Red	Orange	Yellow	Green	Teal	Blue	Pink	Purple	Black	White
D. D. Jameson	1844	Red	Orange	Yellow	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Black	White	Light Blue	Light Green
Theodor Seemann	1881	Dark Red	Red	Orange	Yellow	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Black	White	Light Blue
A. Wallace Rimington	1893	Red	Orange	Yellow	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Black	White	Light Blue	Light Green
Einbridge Bishop	1893	Red	Orange	Yellow	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Black	White	Light Blue	Light Green
H. von Helmholtz	1913	Yellow	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Red	Orange	Yellow	Green	Teal	Blue
Alexander Scriabin	1911	Red	Pink	Yellow	Blue	Light Blue	Red	Cyan	Orange	Pink	Green	Grey	Blue
Adrian Bernard Klein	1930	Red	Orange	Yellow	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Black	White	Light Blue	Light Green
August Aepli	1940	Red	Orange	Yellow	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Black	White	Light Blue	Light Green
L. J. De mont	1944	Red	Orange	Yellow	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Black	White	Light Blue	Light Green
Steve Zieverink	2004	Light Green	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Red	Orange	Yellow	Green	Teal	Blue

Figura 6. Escala de Colores Asociadas a Notas Musicales por Diversos Personajes a lo largo de los Años

Para nuestro proyecto tomaremos el caso del Alexander Scriabin, por ser un personaje que tenía la capacidad de sinestesia color – sonido, desarrollada. Además fue pianista asignó a las notas del piano, el cual es un instrumento que emite una señal auditiva muy agradable para el oído humano, un patrón determinado de colores como se muestra en la Figura 7.

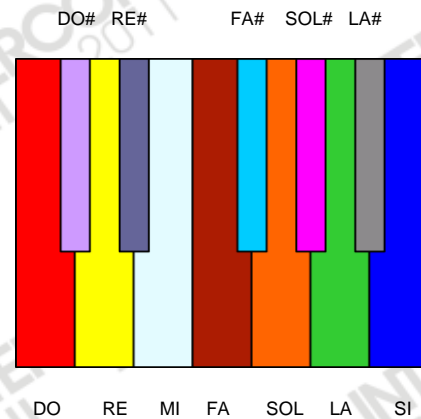


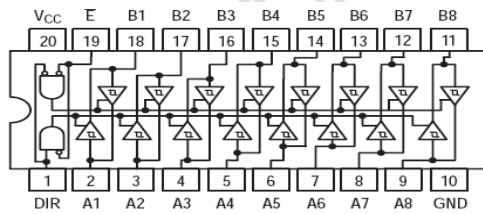
Figura 7. Asociación de Scriabin entre notas y colores

Esta asociación de colores se ordena según el círculo de quintas, basado en el sistema que Sir Isaac Newton describe en su libro Opticks. Scriabin también tomó como referencia al ilustre científico mencionado en sus estudios de sinestesia.

5.5. Interface Auditiva

El control de PIC sobre el órgano se realiza a través de una interface compuesta por transistores 2N2222, relés y diodos

paralelos al bobinado del relé como protección, la cual opera en el momento que entran en saturación al recibir la salida en nivel alto del PIC haciendo que el relé conmute y una las entradas del procesador del órgano que permiten activar el sonido de la nota musical deseada. Debemos tener en cuenta que para realizar esta acción, que la corriente entregada en las salidas del PIC no son lo suficientemente altas para poder saturar a los transistores directamente, por lo que se hace uso de un circuito integrado buffer que permita incrementar esta corriente, dicho circuito integrado es el 74LS245 mostrado en la Figura 8 y como se puede observar en ella, se tendría que implementar poniendo la pata 19 a tierra y la pata 1 a fuente, para que la data del PIC vaya directamente a los transistores de la Interface de conmutación.



TRUTH TABLE

INPUTS		OUTPUT
E	DIR	
L	L	Bus B Data to Bus A
L	H	Bus A Data to Bus B
H	X	Isolation

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Immaterial

Figura 8. Diagrama Lógico y de conexión del Integrado 74LS245

Por otro lado el circuito conformado por los transistores y los relés, sigue la implementación de la Figura 9 permitiendo de esta manera la conmutación. Teniendo en cuenta que es un circuito necesario para cada nota musical, nosotros al trabajar con los 7 tonos de notas musicales, necesitaremos un circuito por tono, obteniendo como resultado la implementación que se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Interface de Conmutación

6. RESULTADOS

Ya habiendo solucionado el problema de perturbaciones debido a iluminación del ambiente, antes de realizar las mediciones para determinar los colores, es necesario lidiar con algunos problemas que se podrían presentar.

En primer lugar es importante la altura desde la cual se emite la luz o que es lo mismo, se coloca el sensor. Para esto es importante colocarlo a una altura en la cual cada haz de luz correspondiente a cada LED se intercepte en una parte con el haz del LED adyacente y también se intercepten los tres en el centro, lo que se quiere decir se puede comprender con la Figura 10 y esto se logra colocando el sensor a una altura de 3.5cm de la superficie, es por esto que el encapsulado que presenta el sensor deberá tener la misma longitud.

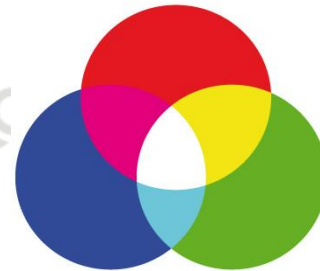


Figura 10. Representación de la Intercepción del Haz de Luz de cada LED

Posteriormente, se tomaron mediciones de los voltajes a la salida del sensor, colocándolo sobre una plantilla con el patrón de Scriabin de la Figura 7, impreso en un material uniforme y liso ubicado sobre una superficie totalmente plana para evitar errores en la toma de datos, lo cual se comprueba al realizar las mediciones, ya que en el multímetro no se presentan variaciones al estar realizando la primera medición y las variación que se presentan al realizar mediciones posteriores sobre el mismo color no son muy significativas con respecto a las anteriores, ya que presentan cambios en decenas de milivoltios para el mismo color mas no para diferentes colores.

En el caso de la diferencia de los valores de voltajes entre colores diferentes es adecuada, considerando que la resolución del conversor ADC es de 19.5mV/bit, y para todos los casos esta diferencia entre colores es mayor al valor de la resolución, es por eso que la cantidad de tres mediciones por color se puede considerar suficiente ya que no se busca verificar cambios en el mismo color, sino que los valores para colores diferentes no coincidan o sean menores al valor de resolución.

Estos resultados y la asignación de cada color a una nota

musical, se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Resultados de Medición de Voltajes por Color

NOTA	COLOR	MEDICION 1	MEDICION 2	MEDICION 3
DO	ROJO CLARO	2.398V	2.462V	2.423V
RE	AMARILLO	2.028V	2.052V	2.062V
MI	CELESTE	1.999V	2.028V	2.038V
FA	ROJO OSCURO	2.429V	2.478V	2.469V
SOL	NARANJA	2.345V	2.380V	2.406V
LA	VERDE	2.242V	2.304V	2.275V
SI	AZUL	2.487V	2.530V	2.505V

Tomando los valores máximos del total de las tres mediciones para llevar a cabo la lógica del programa de detección de colores a través del PIC 16F877A, se tendrán los valores en binario y en hexadecimal para cada nivel de voltaje correspondiente a cada color.

Tabla II. Resultados de Medición de Voltajes por Color

COLOR	VOLTAJE MAX.	VALOR BINARIO	VALOR HEXADECIMAL
AZUL	2.530V	10000001	81h
ROJO OSCURO	2.478V	01111110	7Eh
ROJO CLARO	2.462V	01111101	7Dh
NARANJA	2.406V	01111011	7Bh
VERDE	2.304V	01110101	75h
AMARILLO	2.062V	01101001	69h
CELESTE	2.038V	01101000	68h

7. CONCLUSIONES

Corroborando los resultados del procedimiento de nuestras medidas con las teorías mencionada en la parte de introducción se concluye y se asegura el aprendizaje bajo el concepto de la sinestesia, diferenciando la relación de colores por medio de sonidos.

La música logra evocar en la persona invidente no solo determinados colores sino también diferentes sensaciones emotivas y gran capacidad para seguir desarrollando otras áreas de la percepción.

Se puede aumentar la gama de colores del dispositivo, aumentando más escalas de tonalidades y empleando otros instrumentos musicales, así como la fusión de estos.

La etapa de sensor logra descifrar los resultados analógicos en un rango de conversión de voltios por bit. En un segmento de 8 bits; asegurando una resolución aceptable para el reconocimiento de voltaje color, sonido y teniendo en la fase de salida un sonido estable para en nivel censado. Esto nos hace concluir bajo los casos prácticos y encuestas que incluso podremos bajar la resolución ahorrando costos por motivos de una elección de detector de color de menos resolución y accesible para personas de clase media baja.

El microcontrolador 16f877A facilita el proceso de conversión y la fase de procedimiento acopla la fase de tx y proceso. La necesidad de introducir mayores comandos en la fase de programación sería tan solo para la fase de mayor resolución en la conversión de bits para más gama de colores optimizando el nivel de recepción audible logrando percibir mayores gamas de colores mediante sonidos en sostenidos.

Implementamos un prototipo tomando como referencia el dispositivo Col. Diesis desarrollado en España, logrando también una buena calidad con un bajo costo para ser aplicado e implementado en nuestro país.

Se espera que los resultados de esta investigación sean de utilidad para el diseño, implementación y aplicación de futuros y más avanzados dispositivos.

Hoy en día las nuevas tecnologías modernas ofrecen la posibilidad de ayudar en ese sentido y ofrecen cada vez más soluciones para estos problemas.

Este proyecto es importante no solo por la aplicación tecnológica orientada a un beneficio social, sino por que abarca más de un área; dando la razón a que el desarrollo se lograría cada vez más, con proyectos de tipo multidisciplinarios.

8. RECOMENDACIONES

Para utilizar el dispositivo de manera efectiva, se debe tener un buen conocimiento del protocolo de audio.

Para evitar errores de medición por la luminancia del medio ambiente, se debe tener en cuenta todos los criterios ya mencionados en la parte del sensor.

Siempre tener en cuenta que para cada sonido agregado al dispositivo en el futuro, debe de tener un nivel sonoro adecuado para no afectar y dañar el oído humano. En la presente sección se debe mostrar recomendaciones técnicas a tener en cuenta en la implementación o en la elaboración del proyecto.

9. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las contribuciones de la Universidad Ricardo Palma, al Rector Dr. Iván Rodríguez Chávez, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ricardo Palma, al Decano Ing. Rafael Taipe Chihuán, al director de la escuela Dr. Óscar Penny Cabrera, al laboratorio de Circuitos y Dispositivos, al personal de ingenieros y nuestros asesores Phd. Mario Chauca y Phd. Ana María Montero.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencia a Publicaciones periódicas:

- [1] I. Martínez, “La percepción y el aprendizaje”. [Online]. Disponible: http://sepiensa.org.mx/contenidos/d_percepcion/percibe1.htm
- [2] J. Rossi, Universitat de les Illes Balears, ROBOT Mallorca, Conservatori Superior de Musica de les Illes Balears, “COL.diesis, el color se transforma en sonido”, Mejor proyecto final de carrera sobre la temática de la discapacidad, 2001. Premid'Accessibilitat 2008, España 2009.
- [3] BBC Mundo, “¿Por qué algunos ven números de colores?”. [Online]. Disponible: http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_437900/0/4379017.stm

Referencia a Libros:

- [4] Alvin Juliette, “Terapia musicale”, Editorial Armano Arman, 1981, p.108.
- [5] M. Bella, “¿Que es la Sinestesia?”. [Online]. www.ugr.es/~setchift/docs/t13-sinestesiaauditiva_marialarabella.doc
- [6] Morales G. y López A. Circuito Eléctricos .I Quinta Edición, Junio del 2004, Editorial “Ciencias” S.A. Ltda. Cap. 1, Pág. 57
- [7] José María Angulo Usategui, *Microcontroladores PIC Diseño práctico de aplicaciones*, 2ª ed, McGraw-Hill, Cap. 7, Pág. 143.
- [8] Eduardo García Breijo, *Compilador C CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC*, Primera Edición, Junio 2008, Alfaomega Grupo Editor, Cap. 5, Pág. 123.

11. APÉNDICES

ESTADÍSTICAS SINESTESICAS AUDITIVO-VISUAL

Algunos datos estadísticos nos muestran los porcentajes de este tipo de sensaciones dentro del grupo de sinestésicos:

TIPOS	PORCENTAJE
Sonidos hablados que evocan colores	24.13%
Sonidos generales que evocan colores	23.13%
Sonidos musicales que evocan colores	21.12%
Notas musicales que evocan colores	16.9%
Sonidos que evocan color	10.6%

Referencia: M. Bella, “¿Que es la Sinestesia?”. [Online]. www.ugr.es/~setchift/docs/t13sinestesiaauditiva_marialarabella.doc

12. ANEXOS

12.1. Hojas de Especificaciones

Datasheet PIC 16f87XA

Datasheet Integrado 74LS245

12.2. Resumen de formulas de libros o artículos referenciados

COL.diesis El Color se transforma en sonido