

VISIÓN INVESTIGADORA
Clasificación del artículo:
INVESTIGACIÓN

APRENDIZAJE DE LA FÍSICA EN PRESENCIA DE DISCAPACIDAD: MEDIDOR FOTOÓPTICO DE TIEMPOS PARA INVIDENTES

LEARNING OF THE PHYSICS IN PRESENCE OF DISABILITY: PHOTOOPTIC METER OF TIMES FOR BLIND PEOPLE

Alfredo Chacón García[1]
John Richard Velásquez Prieto[2]

Resumen

Teniendo como marco el convenio suscrito entre la Universidad Distrital y el Instituto Nacional para Ciegos (INCI), se genera la necesidad de investigar sobre el aprendizaje en entornos de discapacidad humana; en este caso, sobre conceptos de Cinemática que deben asimilar estudiantes invidentes de Educación Secundaria. Este documento muestra los resultados de una alternativa propuesta consistente en un instrumento medidor de tiempos, que permite obtener una aproximación confiable de los valores de aceleraciones y velocidades medias, en los experimentos de movimiento en una dimensión. Durante su análisis, diseño e implementación, se considera la imposibilidad de los estudiantes para conocer la naturaleza de la trayectoria del movimiento de la partícula, lo que orientó la labor sobre la implementación de dispositivos sensoriales para extender el límite de la percepción humana, guiado también por una aproximación correcta al fenómeno físico desde la realidad del invidente.

Palabras clave
Aprendizaje, discapacidad, invidentes, instrumento, medidor, tiempo, velocidad, aceleración.

Summary
Having as mark the agreement subscribed among the Distrital University and the National Institute for Blind (INCI), the necessity of investigating is generated on the learning in environments of human disability; in this case, on concepts of Kinematics that blind students of Secondary Education should assimilate. This document shows the results of a proposal alternative consistent in an instrument meter

1 Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital, Especialista en Instrumentación Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Msc. (c) en Ingeniería Electrónica de la Universidad Javeriana, integrante del grupo de investigacion INTEGRA de la Universidad Distrital. alfredochacon@yahoo.com

2 Tecnólogo en Electrónica, de la Universidad Distrital. Áreas de interés: modelamiento matemático de sistemas, sistemas bioinspirados, las redes neuronales. jrvelasquez@udtecno.org

of times that allows to obtain a reliable approach of the values of accelerations and half speeds, in the movement experiments in a dimension. During its analysis, design and implementation, it is considered the impossibility of the students to know the nature of the trajectory of the movement of the particle, what guided the work on the implementation of sensorial devices to extend the limit of the human perception, also guided by a correct approach to the physical phenomenon from the reality of the blind people.

Key words
Learning, Disability, Blind people, Instrument, Meter, Time, Speed, Acceleration

Introducción

Las personas con limitaciones físicas merecen tener la misma calidad de vida que posee la población sin discapacidades. Los esfuerzos tendientes a garantizar su acceso fácil a lugares públicos es un primer paso. Sin embargo, no es el único campo posible de acción, y es allí donde surge la necesidad de desarrollar proyectos que, por ejemplo, mejoren el acceso de los invidentes al conocimiento. Pensando en dicha necesidad, se desarrolla esta adaptación, que tiene como objetivo principal ser una optimización orientada a sus necesidades particulares, y surge como una respuesta inexistente en el mercado, lo que hace que este trabajo cobre una importancia significativa, tanto en el ámbito de aplicación, como social y académico. En este artículo se presenta en primer lugar la solución propuesta, luego se expone un marco referencial adecuado para la comprensión de algunos temas relacionados con el desarrollo propuesto, para así juzgar la relevancia en su desarrollo.

1. Contenido

1.1. Marco Referencial

1.1.1. Codificación por truncamiento de bloques

Este sistema de codificación, al que se hará mención de ahora en adelante como BTC (por sus siglas en inglés, Binary Truncate Coding), es un algoritmo simple y eficiente, empleado por muchos investigadores como método de codificación y compresión de imágenes.

El algoritmo básico BTC bidimensional requiere dividir la imagen en matrices de NxN, donde N normalmente es 4 u 8. Los píxeles se dividen, dentro de cada matriz, en píxeles de baja o alta intensidad. Para determinar la pertenencia de cada píxel en la imagen, se emplea una función de truncamiento:

$$T(i,j) = \begin{cases} 1, & if\ x(i,j) \geq t \\ 0, & if\ x(i,j) < t \end{cases} \quad (1)$$

En donde x(i,j) es la escala de gris en el píxel(i,j). Un decodificador BTC reconstruye la imagen mediante la siguiente fórmula de recurrencia.

$$y(i,j) = a + (b-a)\,T(i,j) \quad (2)$$

En donde los valores a, b corresponden respectivamente al umbral bajo y alto del esquema de codificación.

La rata de transferencia promedio para un esquema BTC bidimensional es de 1+16/N2 [4].

1.1.2. Aprendizaje Jerárquico

Robert Gagne, de la Universidad de Harvard, plantea una teoría del aprendizaje que comprende ocho pasos:

a. Aprendizaje por señales
b. Aprendizaje por respuesta a estímulos
c. Encabezamiento
d. Aprendizaje por asociación verbal
e. Discriminación múltiple
f. Aprendizaje de conceptos
g. Aprendizaje de principios
h. Resolución de problemas

Para lograr un aprendizaje integral, se requiere pasar por las primeras fases, y evolucionar hacia las fases finales. El objetivo del maestro es asistir al estudiante en el camino del aprendizaje. Las ayudas didácticas, instrumentos, y materiales empleados en los procesos cognitivos refuerzan las fases propuestas por Gagne [5].

La aplicación del modelo pedagógico expuesto al desarrollo propuesto, apoya especialmente las fases a, b, e; propiciando el refuerzo de la discriminación de conceptos, mejorando los mecanismos de apropiación de señales, y creando medios para promover la respuesta a estímulos adecuados para la población invidente.

1.2. Descripción de la solución

El instrumento diseñado considera principalmente dos factores. El primero, que en los experimentos de física mecánica, usualmente se considera el valor final del tiempo transcurrido entre dos puntos, ya que la trayectoria es plenamente conocida por el experimentador, un ejemplo común es el movimiento uniformemente acelerado sobre una recta. La otra consideración de diseño es que el invidente no puede determinar de manera directa la trayectoria de un móvil, ni observar el comportamiento de éste durante el experimento realizado. Pensando en lo anterior, se optó por dotar al instrumento de un sistema que permitiera "muestrear" la trayectoria recorrida. En realidad, el instrumento toma muestras de tiempo en diferentes etapas del recorrido del móvil. Sin embargo, como el anterior sistema no garantiza que se tenga una percepción adecuada de los datos, se incluye una interfaz de comunicaciones y un software que recibe los datos del instrumento, los manipula, y finalmente envía los resultados a una impresora Braille, para su posterior "visualización" o percepción por parte de la población objetivo. El aparato integra un bloque que hace posible escuchar el valor final de la medición, para lo cual se han digitalizado las muestras de sonido correspondientes a los números del cero al nueve y el punto, y algunas muestras de voz adicionales, que en total son 30. Además de lo anterior, el aparato visualiza el valor numérico de la medición, ya que hay que tener en cuenta que el sistema será empleado conjuntamente por personal invidente y no invidente. El diagrama de bloques del instrumento se muestra en la figura 1.

Figura 1. Diagrama de bloques de la solución obtenida

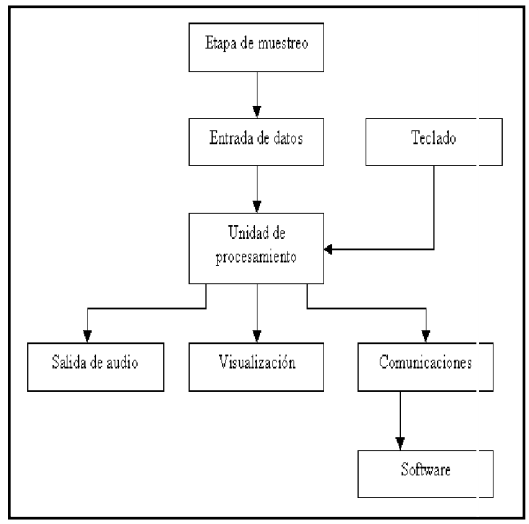
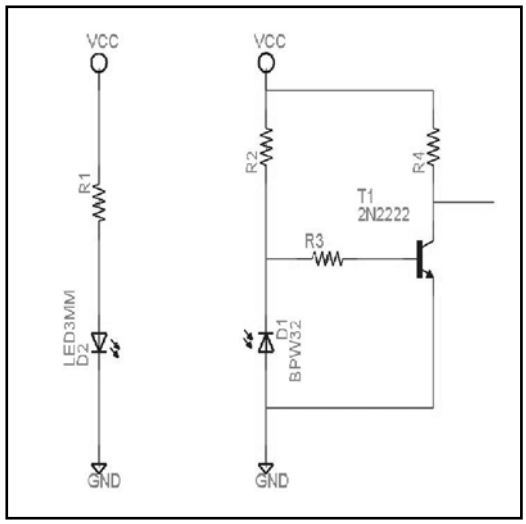


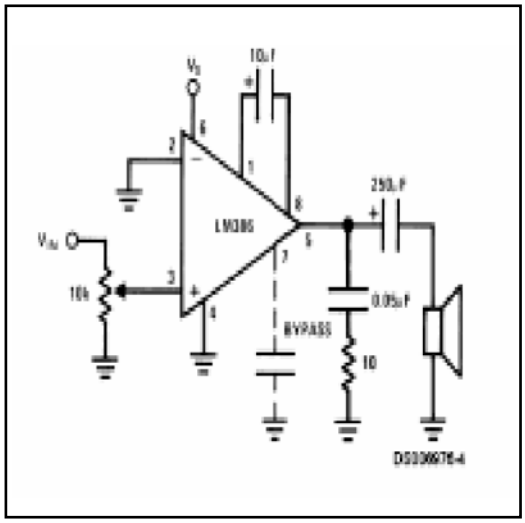
Figura 2. Diagrama esquemático del sensor implementado



Cada uno de los bloques que componen el instrumento se describen a continuación: etapa de muestreo, conformada por un máximo de 16 pares ópticos, el cual produce una señal cuando pasa el móvil por cada par. El esquema del sensor se aprecia en la figura 2, y se basa en el circuito propuesto en [1], y, [2].

- Detección de entradas, conformada por un amplificador operacional LF353, en configuración de sumador no inversor, implementado con 16 resistencias de 10k, de precisión, y configurado para una ganancia de 1/32, para la detección del número de entradas conectadas al instrumento, operación que se realiza mediante la variación lineal de un voltaje, en proporción al número de sensores conectados. La parte digital del circuito la componen dos integrados 74LS245, que proveen aislamiento entre las señales análogas y digitales, y una AND alambrada, implementada con 16 diodos 1N4148 y una resistencia. Este circuito detecta la interrupción de cualquiera de los sensores.

Figura 3. Configuración del amplificador LM386, para una ganancia de voltaje de 200. Tomado de [3]



- Teclado, cuenta con 4 botones, que permiten acceder a las funciones de reset, lectura de memorias y reproducción de audio, cambio de escala, e Inicio/Parada del cronómetro del sistema.

- Amplificación de audio, implementada con un filtro pasabajos de primer orden y un amplificador LM386, que proporciona la salida al parlante del sistema. El circuito cuenta con un interruptor para apagar el parlante.

- Cronómetro de sistema, implementado con un PIC 16F876A-I/P, que gestiona las señales de temporización del sistema, y envía los datos numéricos al display del instrumento, implementado con 5 displays 7-segmentos de ánodo común, y un visualizador 74LS47. El sistema gestiona las comunicaciones con la tarjeta principal, para el envío de los valores de sonido, mediante I2C

- Almacenamiento y lectura de audio, implementado mediante un PIC 16F876A-I/P y una memoria 24LC256, que permite el funcionamiento del bus I2C a 400 Kbps.

Este circuito almacena los datos de sonido, y los reproduce cuando son requeridos por el usuario. Se emplea la codificación basada en BTC, descrita posteriormente.

- Puerto de comunicaciones, implementado con el microcontrolador y un adaptador MAX 232, que transforma la salida del microcontrolador a los valores estándar de la norma RS-232. Este sistema se ilustra en la figura 4.
- Visualización, implementada con 5 transistores 2N2222A y un driver 7447, para alimentar con las señales provenientes del microcontrolador 5 displays de 7 segmentos. Su esquema de conexión lo vemos en la figura 5.
- Software, el cual es un programa que gestiona la solicitud de datos al instrumento, obtiene la información de este, la traduce en las curvas necesarias, la tabula, y la envía a la impresora

Figura 4. Diagrama eléctrico interno y conexiones del MAX232

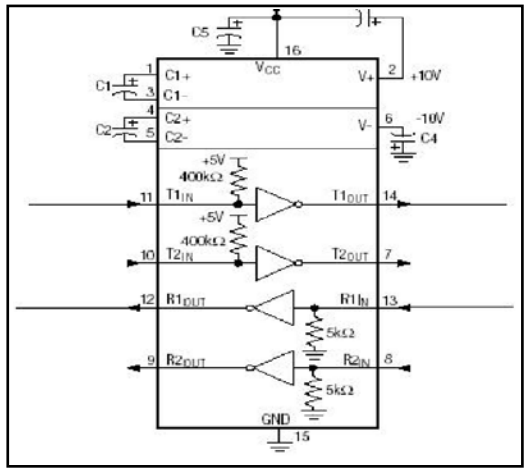
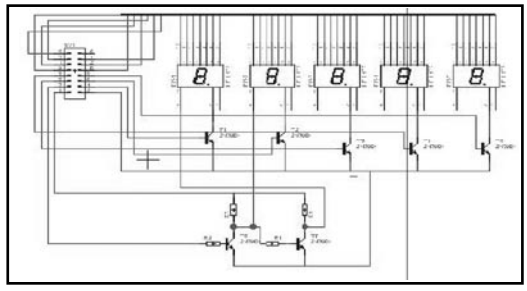


Figura 5. Etapa de visualización



1.3. Codificación de audio basada en BTC

La codificación implementada parte de los siguientes supuestos. En primer lugar, es posible reconstruir una señal mediante un solo bit por cada muestra, si este bit lleva la información referente al cambio de la muestra con respecto a la muestra anterior. Por ejemplo, si la muestra anterior tiene un valor mayor al de la muestra actual, se pone un cero, y en caso contrario se pone un uno. Se hace uso de la característica DC de un circuito RC para convertir el tren de pulsos digital a una señal análoga, partiendo del siguiente hecho. Si la señal es uno, el condensador se carga, a un voltaje cuyo valor queda determinado por la constante de tiempo del sistema. En caso de ser un cero la señal, el condensador se descarga, dependiendo de RC.

Existe otro mecanismo para reconstruir la señal, y se basa en un sistema que calcula el valor de la señal de salida, de acuerdo con la señal de entrada. Este valor digital se alimenta a un DAC y se conecta a un amplificador.

Si se pone un valor límite al voltaje de carga y descarga del condensador en cada instante de tiempo, semejante a un escalón de codificación digital, se tiene un sistema que permite reconstruir con bastante precisión una señal de audio. Si se asume que V=Vdd/8, el circuito se carga a un valor

que excede Vdd/8 al valor anterior, por cada uno en la trama de datos, mientras que se descarga a un valor Vdd/8 inferior al anterior, por cada cero en la trama. La fórmula de recurrencia para calcular el valor de carga del condensador, al final de cada muestra, es:

$$Vc(n+1)=Vc(n)+(2k-1)*Vdd/8 \quad (3)$$

Esta expresión no tiene en cuenta el efecto de carga en el tiempo, sino que considera el valor final de la carga, y toma valores discretos de tiempo. Una expresión correcta, para los valores continuos del voltaje del condensador, es:

$$\Delta Vc(t)=(Vdd/8)*(1-exp-(t/RC)),\ k=1 \quad (4a)$$

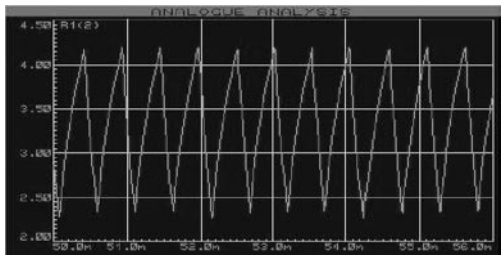
$$\Delta Vc(t)=(Vdd/8)*(exp-(t/RC)),\ k=0 \quad (4b)$$

Que son expresiones válidas para $(n-1)*t_s<t<n* t_s$, donde ts es el tiempo de muestreo de la señal.

El funcionamiento de este esquema de audio se justifica de una manera sencilla. El mecanismo de audición humana es esencialmente un transductor electroacústico altamente sensible que responde a ondas sonoras de un amplio alcance de frecuencias, intensidades y formas de onda. Éste transforma las fluctuaciones de presión acústica en pulsos en el nervio auditivo. Estos pulsos son llevados al cerebro, el cual los interpreta e identifica, y los convierte en sensaciones: la percepción del sonido.

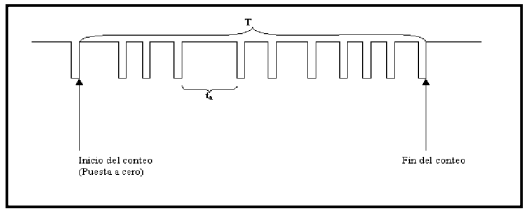
Como la respuesta del oído humano es puramente subjetiva, no puede medirse directamente como las cantidades físicas. La respuesta del oído humano varía tanto con la frecuencia (de 20 a 20000 c/seg.) como por la intensidad del sonido (de 10-12 a 1 w/m^2). No obstante el oído humano es más sensible

Figura 6. Simulación de la señal de salida del circuito RC*



* Realizada en Proteus VSM, correspondiente a la palabra "cero", con una frecuencia de muestreo de 4KHz, en el intervalo temporal de 50 a 56ms. Se pide al lector que compare con la Figura 12a.

Figura 7. Diagrama de tiempos correspondiente a un número de sensores igual a 11



a los cambios de frecuencia que a los de intensidad y más sensible a sonidos de baja intensidad que a los de alta intensidad. A causa de su respuesta no lineal a las ondas sonoras, el oído humano capta realmente sonidos de varias frecuencias [6].

1.4. Medición de los intervalos de tiempo

Para efectos descriptivos de esta etapa del proyecto, se presentará un diagrama de tiempos correspondiente a un número de sensores de 11. Inicialmente, el estado de la entrada de detección corresponde a un uno lógico, como se puede apreciar en la figura 7.

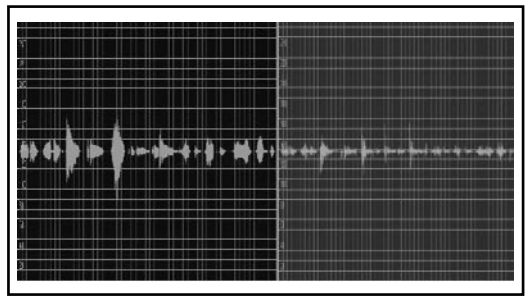
En el momento en que se produce una interrupción, se inicia el conteo, lo que se ha llamado puesta a cero, ya que el

número de intervalos de tiempo a contar mediante el instrumento equivale a (n-1) interrupciones, para este caso, 10. Dicho de otra manera, el instrumento cuenta los intervalos después de la puesta a cero. Se puede apreciar, así mismo, que el valor de cualquiera de los intervalos temporales t_a, generalmente difieren para un valor de a diferente. En este caso, a varía entre 1 y 10. Para el caso general, a varía entre 1 y (n-1). Cuando es detectado el final del conteo, evento indicado en la Figura 7, el valor acumulado hasta ese instante de tiempo corresponde al tiempo medido entre el inicio y el final de la trayectoria, el cual se muestra en la figura 7 como T. Estos valores de tiempo, tanto los intermedios como el valor final, son almacenados en posiciones intermedias de la memoria RAM libre en el microcontrolador, empleando para ello un máximo de 75 bytes, lo que garantiza que se almacenen todos los datos correspondientes al conteo de tiempo.

1.5. Procesamiento de las señales de sonido

La realización de esta tarea se haría inicialmente mediante un sistema inspirado en un analizador espectral mediante el corrimiento de la frecuencia de muestreo[7][8]. Sin embargo, esta opción resultó ser computacionalmente inadecuada, ya que el emplear el microcontrolador para realizar el procesamiento de señales que permanecerían fijas en la memoria de programa es innecesario, y además, requería de espacio en memoria y de tiempo de ejecución. Se optó entonces por efectuar un tratamiento de señales empleando la herramienta de software Goldwave, de GoldWave Inc., en una primera etapa. En esta fase del proceso, se grabaron en el computador las 11 muestras de sonido, correspondientes a los números del cero al nueve, y el punto.

Figura 8. Señales original (arriba) y procesada (abajo) correspondientes a las 11 muestras digitalizadas. Las imágenes se obtienen con el programa GoldWave



El programa permitió la selección de la frecuencia de muestreo de la señal, en este caso de 6000 Hz. Posteriormente se realizó un filtrado, basado en el análisis de las curvas de espectro de amplitud. Las señales de sonido original y procesada, pueden verse en la Figura 8. Se generaron alrededor de 31000 muestras en total, para ser almacenadas en la memoria I2C.

La codificación inicialmente ideada, permitía almacenar las muestras de voz con una frecuencia de muestreo de 1200 Hz, y se generaron alrededor de 6200 muestras, con el fin de almacenarlas en la memoria de programa del microcontrolador. Sin embargo, el sonido era ininteligible, lo que exige el rediseño del esquema de codificación de sonido. Es entonces cuando se desarrolla un esquema de codificación basado en algoritmos BTC, pero empleando una versión muy simplificada. Se desarrolla entonces un algoritmo para codificar el sonido, y es implementado en lenguaje C. La codificación actualmente realizada emplea de manera más eficiente la memoria de almacenamiento, ya que se emplea menos del 45% de la memoria del microcontrolador, con una frecuencia de muestreo de 4 KHz, para

almacenar las once muestras inicialmente empleadas. El sistema almacena hasta 128K de audio, y soporta frecuencias de muestreo entre 4 y 24 KHz, lo que permite codificar un mínimo de 43 segundos (a 24 KHz) y un máximo de 4 minutos de sonido (a 4 KHz).

Actualmente se almacenan 30 muestras de sonido, relacionadas en la tabla 1.

Tabla 1. Listado de sonidos, correspondientes a las palabras, o frases, almacenadas en la memoria. La duración total de los sonidos almacenados es de 43 segundos

Sonidos almacenados			
cero	siete	trece	cincuenta
uno	ocho	catorce	sesenta
dos	nueve	quince	setenta
tres	punto	venti	ochenta
cuatro	diez	veinte	noventa
cinco	once	treinta	dato número
seis	doce	cuarenta	tiempo de vuelo

La obtención del archivo de texto requerido por el codec implementado en C se hace empleando el programa Mathcad 2001, la cual trae algunas funciones diseñadas para obtener información y el contenido de los archivos de sonido con extensión *.wav.

La lista de las posiciones de memoria se obtuvo empleando el comando WavRead( ), de acuerdo con lo propuesto en [9]. Luego de ser almacenadas dichas muestras en la memoria I2C, se diseñó un algoritmo que permitiera la lectura de las posiciones correctas de memoria, y su síntesis posterior mediante el módulo de PWM, o CCP, del microcontrolador, para lo cual se tuvo en cuenta el intervalo entre cada muestra de sonido, y la resolución del módulo.

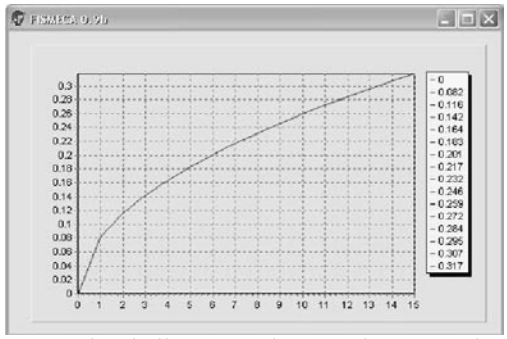
1.6. Grabación de los datos en memoria

El almacenamiento de los datos en memoria supuso un nuevo reto para el diseño del proyecto. El código fuente de acceso y lectura de los datos en la memoria de programa, así como el resto del código del instrumento, se desarrolla mediante el compilador de C para PIC de CCS. Sin embargo, CCS en su implementación (versión 3.242) no soporta el uso de directivas de programación. Específicamente, para almacenar los datos requeridos en la memoria de programa del microcontrolador, se requiere la directiva dw soportada solamente, de manera directa, por el lenguaje ensamblador de Microchip. El linker de Microchip no soporta archivos generados por el compilador CCS, por lo que no fue posible enlazar de manera directa estos archivos. Entonces se diseña una rutina en C, para leer el contenido del archivo .hex correspondiente al código fuente, copiarlo en otro archivo, y luego acceder el archivo .hex con los datos que van en memoria, y agregarlos al archivo. Este programa, grabado en el microcontrolador, permite transferir los datos a la memoria I2C.

1.7. Interfaz con el usuario

El programa que captura los datos provenientes del instrumento, fue diseñado empleando la herramienta de programación Borland C++ Builder 5. Este software, en su versión 1.3, fue diseñado para generar una tabla de los valores de posición, velocidad y aceleración, en un movimiento desarrollado en una dimensión, sea éste con velocidad uniforme o variable. Además de generar la tabla de datos, da libertad al usuario para que modifique el valor de la distancia entre cada sensor, lo que permite obtener un valor más real de las variables mencio-

Figura 9. Curva de salida obtenida con la versión 1.1 del programa Argos Panoptes*



* Correspondiente al problema propuesto en la Sección 2.9. de este mismo artículo

nadas anteriormente. Así mismo, genera una gráfica de salida, independiente, por cada variable mencionada con antelación. Una pantalla (screenshot) del programa se observa en la figura 9.

Figura 9. Curva de salida obtenida con la versión 1.1 del programa Argos Panoptes, correspondiente al problema propuesto en la sección 2.1. de este mismo artículo.

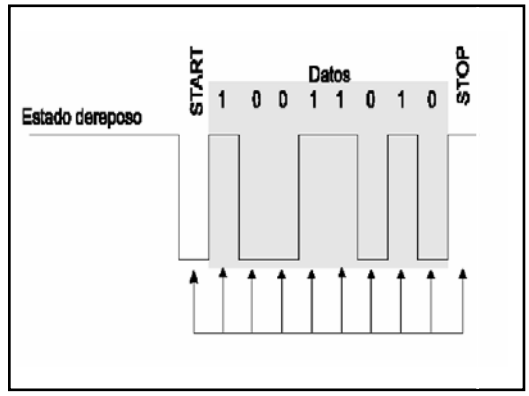
2. Simulaciones

Se verificó el funcionamiento del diseño empleando para ello varias herramientas de software, dependiendo del bloque a probar.

La simulación de la rutina principal, implementada en el microcontrolador, se realizó empleando MPLAB IDE®, versión 6.5, y mediante ésta se pudo medir la duración de la actualización del contador, en las dos escalas de tiempo, obteniendo los valores de 9.52 y 99.63 microsegundos, para cada escala.

La etapa de comunicaciones, funciona conforme al protocolo RS-232, y el esquema de la trama de datos se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Esquema de la trama de datos en el protocolo RS232. Tomado de [10]



El sensor se simuló en ORCAD, versión 9.1, y los resultados obtenidos se muestran en la figura 11.

La simulación del funcionamiento del esquema de codificación de audio, se realiza mediante Proteus VSM, que cuenta con una herramienta para la simulación de señales de audio, en su kernel PROSPICE. Esta herramienta, se configura para reproducir un sonido monofónico de 22050 Hz a 16 Bits.

Figura 11. Simulación en Orcad del funcionamiento del sensor

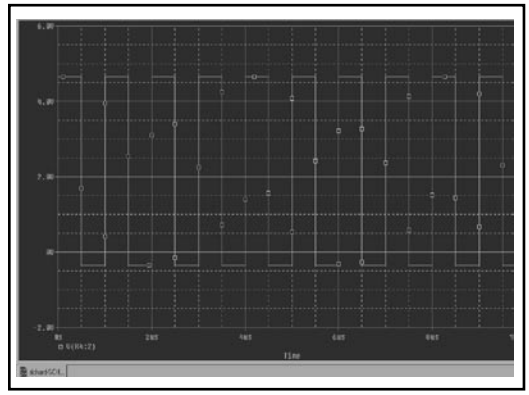
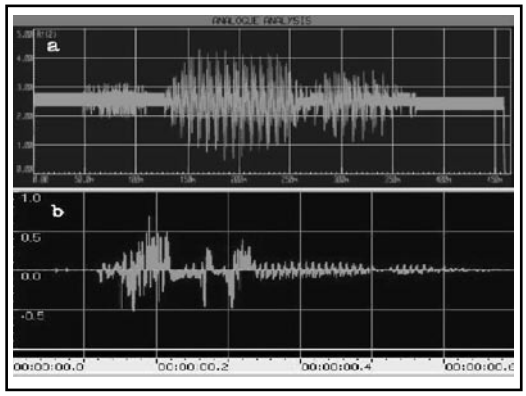


Figura 12. **a) Simulación mediante la herramienta Audio Analysis, de Proteus VSM, para la señal de salida correspondiente al cero, codificado a una frecuencia de 24KHz**
b) Grabación de la palabra "cero" en GoldWave



En esta configuración se obtiene la mejor resolución audible de la simulación. Los resultados de las simulaciones realizadas, se presentan en la figura 12.

2.1. Pruebas

En primer lugar se hizo evidente la necesidad de generar un esquema que permitiera verificar las corrientes y voltajes consumidos, para realizar una adecuada selección de la fuente, y de paso, cumplir con lo estipulado por la norma NTC ISO 9000, en los apartados de diseño.

Dicho esquema finalmente se ejecutó de la siguiente manera. Se montaron diversos circuitos de prueba para cada una de las etapas, lo que permitió evaluar el consumo de corriente de cada bloque de hardware. Los parámetros de operación de corriente y voltaje de cada bloque del instrumento se relacionan en la tabla 2.

La calibración del instrumento, se realiza empleando tres elementos de tiempo diferentes. Se hace uso, como elemento de tiempo patrón, de los cronómetros de los modelos de teléfonos móviles Nokia 1100 y Nokia 2600. También se emplea el temporizador interno de la calculadora HP 48G. Las resoluciones de los "patrones" de tiempo se presentan en la tabla 3, los resultados de las calibraciones en la tabla 4, y se puede ver una imagen de la calibración simultánea del aparato en la figura 13.

Tabla 2. **Mediciones de corriente y voltaje de alimentación para los bloques de hardware más representativos**

Bloque	I(mA)	Vs(V)
Visualización	53,1	5,02
Etapa de potencia	114	5,02
Sensores	16,3	5,02
Etapa de entrada	18,9	5,02

Tabla 3. **Resolución de cada uno de los patrones empleados, en milisegundos**

Bloque	I(mA)	Vs(V)
Visualización	53,1	5,02
Etapa de potencia	114	5,02
Sensores	16,3	5,02
Etapa de entrada	18,9	5,02

Figura 13. **Resultados de una calibración simultánea. a) Nokia 1100. b) Nokia 2600 c) HP 48G. d) Instrumento, escala x10**

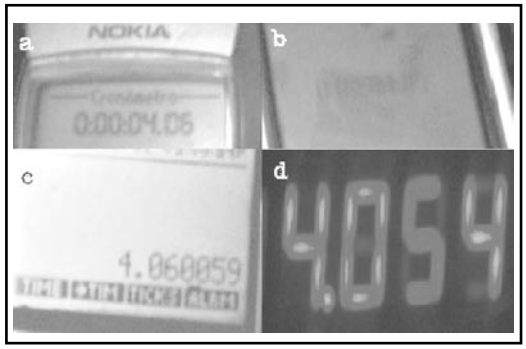


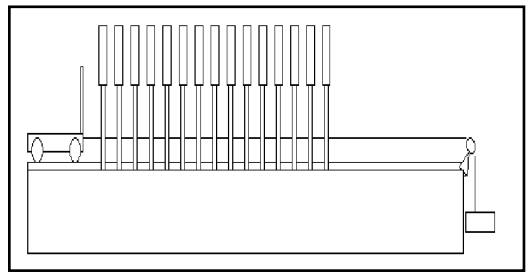
Tabla 4. Resultado de las pruebas de calibración, realizadas con los patrones de tiempo descritos anteriormente

NOKIA 1100 X10		
PATRÓN	INSTRUMENTO	%ERR. REL.
2.53	2.523	0.23352569
2.55	2.505	0.56505556
3.42	3.406	0.40335673
Error relativo promedio		0.43537932
NOKIA 1100 X1		
PATRÓN	INSTRUMENTO	%ERR. REL.
2.5	2.759	0.352557 4
2.57	2.5666	0.1154669
4.04	4.0399	0.02247525
2.35	2.352	0.1647059
Error relativo promedio		0.42256747
NOKIA 2600 X10		
PATRÓN	INSTRUMENTO	%ERR. REL.
4.00	4.035	0.65 2652
3.46	3.46	0
0.23	0.239	0.49562652
Error relativo promedio		0.35223734
NOKIA 2600 X1		
PATRÓN	INSTRUMENTO	%ERR. REL.
3.94	3.9068	0.54263359
1.93	1.9 3	0.57564767
0.54	0.532	1.48236236
3.54	3.52 2	0.45355333
Error relativo promedio		0.5 770539
HP48G X10		
PATRÓN	INSTRUMENTO	%ERR. REL.
3.479 26	3.457	0.22632 2
4.532397	4.506	0.54625065
2.4536 3	2.444	0.39 75355
Error relativo promedio		0.355 2045
HP48G X1		
PATRÓN	INSTRUMENTO	%ERR. REL.
3.523657	3.5 26	0.4345 535
0.76553	0.75 6	2.330 2055
2.5 2329	2.49 2	0.54 0 246
6.5576 7	6.5724	0.2254325
Error relativo promedio		0.35754537

Posterior a la verificación técnica del instrumento, se realiza un experimento que aporta elementos para comparar su desempeño con lo obtenido teóricamente.

Se coloca un carro de laboratorio sobre un riel de 1.5 metros de longitud, al final del cual se ubica una polea. Por la polea pasa una cuerda, atada al carro y en el otro extremo, a una pesa de 50 g de masa, que está por encima del suelo 1.2 metros. El carro empleado para la prueba pesa 100 g, lo que hace que la aceleración a la que se somete el móvil sea la mitad. El diagrama experimental lo muestra la figura 13. Se disponen los 16 sensores a una distancia de 6.6 cm. uno del otro, que cubre una distancia total de 0.99 m, como se aprecia en la misma figura. Este experimento corresponde al típico experimento de movimiento uniformemente acelerado en una dirección.

Figura 14. Montaje experimental empleado para las pruebas



La tabla obtenida al realizar esa medición, corresponde a la tabla 5. La gráfica obtenida es la mostrada en la figura 9.

Tabla 5. Valores medidos con el instrumento, para el montaje experimental de la figura 14

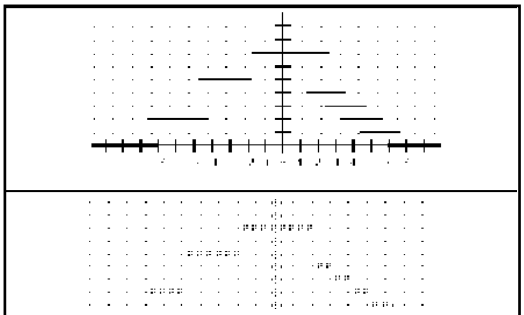
INTERVALO	TIEMPO(S)
1	0,0821
2	0,1159
3	0,1422
4	0,1642
5	0,1831
6	0,2008
7	0,217
8	0,2319
9	0,2463
10	0,2593
11	0,272
12	0,2842
13	0,2955
14	0,3068
15	0,3174

Figura 15. Tabulación de un registro de datos de temperatura y su correspondiente representación en Braille

Tinta		Braille
Día	Temp	
1	20	
2	22	
3	18	
4	18	
5	22	
6	24	
7	20	
8	19	
9	18	
10	16	
11	11	
12	12	
13	16	
14	18	
15	23	
16	21	
17	21	
18	22	
19	20	
20	18	

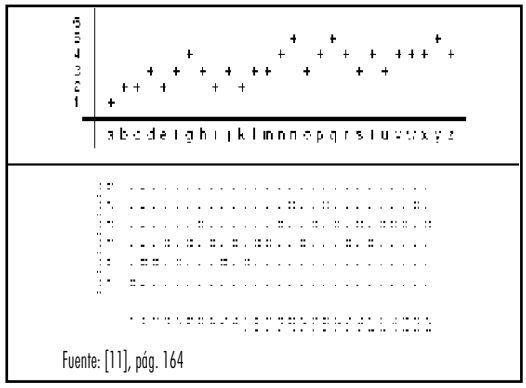
Fuente: [11], pág. 125

Figura 16. Gráfica de una función escalonada y su representación en el taxiplano, o representación del plano bidimensional en Braille



Fuente: [11], pág. 177

Figura 17. Representación de un elevado número de elementos y su concordancia en el taxiplano



Fuente: [11], pág. 164

Un aspecto importante de las pruebas realizadas era analizar la respuesta de la población invidente a las salidas del instrumento. Si bien el estudiante invidente manifiesta cierta comodidad con la reproducción de las muestras de sonido, la presentación de los datos mediante el estándar sugerido por la ONCE [11]. La familiaridad del estudiante con la presentación de los reportes en tablas de datos fue bastante alta, pero, la presentación gráfica requiere un mayor grado de estudio. Las figuras 15, 16 y 17 ilustran la forma de presentar datos sugerida por el documento referido.

3. Resultados

Los resultados obtenidos durante este desarrollo fueron los siguientes:

- El error promedio en la medición del tiempo, comparado con los tres patrones, para las dos escalas del instrumento, no excede el 1%.
- Se obtiene un codec de audio que permite emplear de manera eficiente la memoria de almacenamiento, sin distorsionar la inteligibilidad del mensaje, al permitir

la grabación de un máximo de 4 minutos de sonido.

- El instrumento incorpora mecanismos que facilitan el aprendizaje, y refuerzan las fases del aprendizaje descritas por Gagne, en la medida que facilita la adquisición de información sobre el fenómeno físico al invidente.
- El programa de computador obtiene los valores de velocidades y aceleraciones medias entre cada par de sensores, y las ecuaciones de posición, velocidad, y aceleración mediante mínimos cuadrados.
- El método de "muestreo" de la trayectoria, garantiza una buena aproximación al fenómeno físico real, correspondiente a un experimento típico de movimiento en una dimensión.
- La presentación de los resultados es conforme a los estándares propuestos por la ONCE.

4. Perspectivas

Las siguientes son algunas alternativas de desarrollo potencial, a partir de los resultados del proyecto.

- Es interesante realizar un estudio detallado sobre la estrategia de codificación de audio empleada, con el fin de depurarla, mejorarla, y convertirla en una herramienta para el desarrollo de aplicaciones con sonido.
- Desarrollo de un Ambiente Virtual de Aprendizaje de la Física, orientado a personas invidentes.
- Diseño de instrumentación didáctica para personas con discapacidades.
- Diseño de instrumentación científica de altas prestaciones y bajo costo.
- Homologación del instrumento en la Superintendencia de Industria y Comercio.
- Comercialización y exportación hacia la Unión Europea, previa validación del ONCE.
- Diseño y desarrollo de un software matemático para invidentes.

Conclusiones

- Es posible desarrollar instrumentos que apoyen procesos de aprendizaje orientados hacia las necesidades particulares de poblaciones con necesidades especiales, sin olvidar el contexto local, que obliga a una solución mixta.
- Se requiere un mayor desarrollo, tanto a nivel matemático, como a nivel práctico, de las herramientas implementadas para la codificación de sonido en el microcontrolador, con el fin de potenciar su uso intensivo a nivel de aplicación.
- Esta solución hace posible la implementación de soluciones integradas, para su uso por personas normales y con alguna discapacidad, facilitando las tareas de aprendizaje y adquisición de información a los usuarios.
- Partiendo de ideas complejas, como un compresor para imágenes, es posible obtener modelos matemáticos sencillos para codificación de señales de audio.

Referencias bibliográficas

[1] Millman, J; Halkias, C. "Electrónica Integrada". Editorial Hispano Europea. Barcelona, 1976, Pág. 160-161.

[2] Mark Horenstein. "Microelectrónica: Circuitos y Dispositivos". Prentice Hall Iberoamericana, 1997, Pág. 278-279.

[3] National Semiconductor. "LM 380 Power Amplifier", National Analog and Interface Products Databook, National semiconductors, 2002.

[4] Rabine, Hamid, Kasyap, R.L, Radha, H. "Multiresolution image compression with BSP trees and multilevel BTC". IEEE ICIP'95, Washington D.C. Octubre de 1995. pp 2-3.

[5] Mendoza de Suarez, Rosa. "Teorías de Aprendizaje". Universidad de Pamplona. Pamplona. 2001. pp 66-69.

[6] Altavoces. http://olmo.pntic.mec.es/~jmarti50/doncel/acustica.htm

[7] AN542, "Implementation of Fast Fourier Transforms", Embedded Control Handbook, Microchip, 1993.

[8] Gustavo Caamaño León, "Análisis espectral por corrimiento de la frecuencia de muestreo", Tecnura, No. 4, 1999, Pág. 20-27.

[9] Mathcad Resource Center, "Read WAV Files", Mathsoft Inc., 2000.

[10] Universidad Politécnica de Valencia. "Transmisión Serie", Universidad Politécnica de Valencia, 2001.

[11] Fernández del Campo, José. "Braille y Matemática". ONCE. Madrid, 2004.