

Piano Digital

Edward López Díaz

Eliana Patiño Anaya

Universidad Nacional de Colombia

ldedwarde@unal.edu.co

mepatinoa@unal.edu.co

20 de Febrero de 2019

Resumen—Este documento presenta el planteamiento del diseño y construcción del proyecto para el curso de Electrónica Digital, el cual es un piano que busca aportar en el tratamiento de problemas de motricidad en niños en condiciones de vulnerabilidad económica, se pretende llevar a fin este proyecto aplicando los conocimientos adquiridos tanto en la clase magistral como en el desarrollo de las prácticas de laboratorio, además de aplicar también conceptos de enseñanza como ABP (Aprendizaje Basado en Problemas).

Palabras Clave— Amplificador, FPGA, Nexys, Piano, Verilog.

Abstract—This paper shows the approach for the design and construction of the project for the Digital Electronic course which is a Keyboard that seeks to contribute in the treatment of motor problems in children in conditions of economic vulnerability, it is intended to bring this project to completion by applying the knowledge acquired in both the master class as in the development of laboratory practices, also applying teaching concepts as PBL (Problem Based Learning).

Palabras Claves—Amplifier, FPGA, Nexys, Verilog, Piano.

I. OBJETIVOS

I-A. Objetivo General

Diseñar e implementar un piano electrónico de una octava, con salida de audio donde cada una de las notas del teclado sean claramente identificadas.

I-B. Objetivos específicos

- Descripción de hardware en la FPGA.
- Probar el funcionamiento mediante emisión de sonidos al oprimir el teclado.
- Aplicar conceptos teóricos adquiridos durante el desarrollo de las clases y los laboratorios de la materia electrónica digital.

II. PROBLEMA

Se tiene una problemática que afecta especialmente a la población infantil y son los problemas de motricidad, los cuales se entienden como dificultades físicas que interfieren

en su correcto desarrollo como son deformidades, rigidez muscular, problemas de coordinación, dificultad para realizar movimientos y para mantener una adecuada posición, entre otros y además en otros casos se presentan dificultades auditivas no detectadas a tiempo.

La problemática que se desea resolver con este proyecto se enfoca en dificultades de motricidad fina en niños bajo condiciones de vulnerabilidad económica, especialmente la rigidez muscular y la dificultad para realizar movimientos (en este particular) con las manos.

Con este proyecto se busca dar un aporte en el tratamiento de esta problemática y ayudar a mejorar capacidades motoras, percepción auditiva y demás problemas similares.

Para enfrentar esta problemática no solo basta una solución (tratamientos de terapia actualmente usados), sino se requiere un grupo de diferentes alternativas, que además sean didácticas y llamativas, para que los pacientes puedan mejorar su calidad de vida; entre estas alternativas está escuchar y/o usar el piano como una de las múltiples alternativas de recuperación.

Se toma como apoyo académico para este planteamiento, un estudio publicado por la revista Nature en 1993, realizado en la universidad de Winsconsin en EEUU en el que los estudiantes escucharon por 10 minutos la sonata en re mayor para dos pianos KV448, observándose que su rendimiento mejoraba con respecto a pruebas de razonamiento espacio temporal, esto se conoce como el Efecto Mozart. Aunque las investigaciones en muchos casos médicos no son del todo concluyentes con respecto al beneficio que se plantea, de que al escuchar o tocar un instrumento musical cambie la condición de salud, se sabe que en la práctica es usado en muchas instituciones médicas para tratar a los pacientes.

III. ANTECEDENTES

Existe un proyecto en la web, realizado por los estudiantes Juan Peña y Daniel Uchuay, en el que diseñaron e implementaron un piano de 2 octavas utilizando una Spartan 3E. [2]

En el documento: "The Electronic Piano Design Based on FPGA and PS2 Interface" se menciona la implementación de un piano electrónico, mediante el uso de un teclado PS2 usando una tarjeta FPGA. [3]

Adicionalmente, en el documento: "Music and the Brain – Design of an MEG Compatible Piano" se menciona la importancia del uso del piano para la investigación de la interacción cerebro - muscular, cómo es la formación de respuestas neuronales, cognitivas y cómo las personas memorizan una nueva melodía. [4]

IV. ESTADO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN

Los problemas de motricidad han sido ampliamente estudiados y se cuenta con una ruta clara a seguir tanto como para su diagnóstico como para su tratamiento, como parte de estos tratamientos, se usan elementos didácticos y llamativos para los niños, por ello, los objetos que los motiven a jugar o a su uso frecuente son parte fundamental en la terapia para lograr un desarrollo motriz adecuado.

Por tanto, como alternativa de solución para tratar problemas de motricidad en niños se usan terapias físicas, llevadas a cabo por profesionales en diferentes áreas de salud, además de las actividades que se realicen en casa por medio de juguetes u objetos didácticos que les resulten llamativos.

Como aporte a la terapia en el tratamiento de problemas de motricidad, se ha adelantado la construcción de un piano, el cual cuenta con doce teclas para las diferentes notas: DO, DO#, RE, RE#, MI, FA, FA#, SOL, SOL#, LA, LA# Y SI, en el cual se puede trabajar la movilidad y la posición de los dedos mediante la interpretación de melodías.

V. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Brindar un aporte al tratamiento y la terapia de problemas de motricidad en población infantil.

Realizar un proyecto que brinde alternativas de solución a la población, aplicando los conocimientos que desde el área de la ingeniería se han adquirido y mostrar con ello el componente social que lleva consigo la aplicación del conocimiento.

Mostrar que se puede llevar a cabo la construcción y generación de proyectos con materiales reciclables, haciéndolos más sustentables, teniendo en cuenta que habrá algunos componentes electrónicos que no hacen parte del material reciclable, pero que al final de su uso tendrá una disposición final adecuada.

Usar la música y la interpretación de instrumentos musicales como alternativa de solución de diferentes problemas de salud.

VI. DESARROLLO DEL PROYECTO

En esta sección se presenta el diagrama de bloques que compone el diseño propuesto para la elaboración del

piano, el cual cuenta con el diseño del circuito que ha sido implementado y probado en el laboratorio, además de un ejemplo de la conexión del circuito para la nota SI, donde se infiere que las conexiones para las demás notas se dan de forma similar a esta. También se presenta una tabla con la manera en que fueron obtenidas las frecuencias de cada una de las notas y se presentan unas imágenes donde se puede apreciar el avance del proyecto con las respectivas conexiones realizadas.

En la Figura 1 se presenta el diagrama de bloques del proyecto piano, con este montaje se pretende que el funcionamiento del piano se dé así: almacenando los sonidos de las distintas frecuencias de las notas correspondientes a 1 octava y liberándolos al ser pulsada una tecla del piano, se da la sensación de retardo con un temporizador a los sonidos.

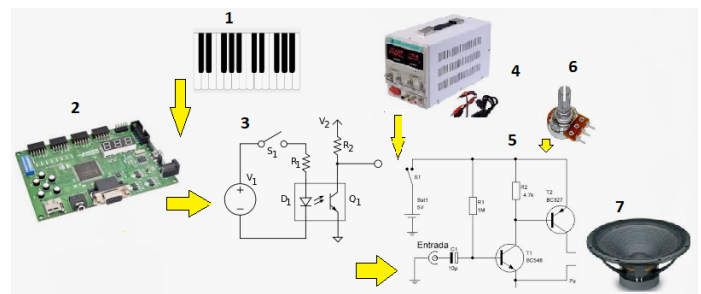


Figura 1: Diagrama de bloques proyecto Piano

En el diagrama de bloques previamente presentado se muestran de manera superficial los componentes físicos que conforman el proyecto.

La estructura física del piano la compone una caja en madera de 17cm de ancho por 29.5cm de largo, en su parte frontal se halla distribuida una octava del piano. La octava posee teclas de las notas mayores y los sostenidos, las teclas están ajustadas a pulsadores con tierra común y fuente común, en este caso la tierra y los 3.3V de la FPGA Nexys 4. Las teclas proveen a la FPGA 12 entradas correspondientes a las notas del piano, la disposición de un circuito externo independiente de la FPGA permite la conexión entre las entradas del teclado y las 12 salidas de la FPGA a un sumador de señal y a un Amplificador

De acuerdo a lo presentado en las Figuras 10 y 11 se tienen los siguientes componentes finales para el proyecto Piano:

- Caja en mdf 3mm de 17cm de ancho por 29.5 de largo.
- Una octava mecánica con las 12 notas, mayores y menores conectadas a pulsadores.
- Teclado del piano: pulsadores que van conectados a la FPGA.
- Una PCB diseñada en ISIS de PROTEUS, con el circuito de las entradas, las salidas, el filtro de la señal, el sumador de las señales y amplificador, donde el sistema de opto acopladores que evitan retorno de corrientes no deseadas a la FPGA y que se unen con la fuente y el amplificador.
- FPGA Nexys 4.

- Dos Fuentes externas de alimentación de 12V para el circuito de la PCB.
- Salida de audio con parlante de 8Ω .

Inicialmente se generan 12 notas de la cuarta octava, donde se resumen las frecuencias de las notas y el valor del divisor para la Nexys 4. Este valor sale de dividir la frecuencia del reloj de la tarjeta de 100MHz en la frecuencia en Hz de la nota correspondiente multiplicado por 2, de acuerdo a lo presentado en el Cuadro I.

NOTA	Valor del divisor	Frecuencia (Hz)
DO	191110	261.626
DO#	180388	277.183
RE	170264	293.665
RE#	160704	311.127
MI	151684	329.628
FA	143172	349.228
FA#	135138	369.994
SOL	127550	391.995
SOL#	120394	415.305
LA	113636	440.000
LA#	107258	466.164
SI	101238	493.883

Cuadro I: Características del las notas

A continuación se crea un divisor para cada nota musical en Verilog y se instancian en un archivo *Top* y en este se multiplexan cada una de las doce notas para que cada nota sea activada por un interruptor. Se crea un archivo *Pines* donde inicialmente se prueba el código con los interruptores del la FPGA y la salida de audio.

Para la solución de la propuesta de proyecto se evidenció la necesidad de definir las siguientes entradas y salidas:

ENTRADA	SALIDA
Bus-Keys (Hace referencia al teclado)	Bus-Speaker (Hace referencia a la señal de salida de cada nota)
Bus – Slit (Hace referencia al selector de la octava a reproducir)	
Clk (reloj del dispositivo)	

Cuadro II: Entradas y salidas

A continuación se especifican os módulos a usarse para el adecuado funcionamiento del Piano:

Debouncer: Implementado para solucionar la vibración de los interruptores mecánicos utilizados para el manejo de las teclas del piano. En él entrará la señal variable que producen los pulsadores para convertirla en una señal uniforme de 1 o 0.

Notas: (Do, DoS, Re, ReS, Mi, Fa, FaS, Sol, SolS, La, LaS, Si) : Son los módulos encargados de tomar la señal del reloj y dividir su frecuencia para generar una señal pertinente con la frecuencia correspondiente de la nota en el piano (de acuerdo al Cuadro I).

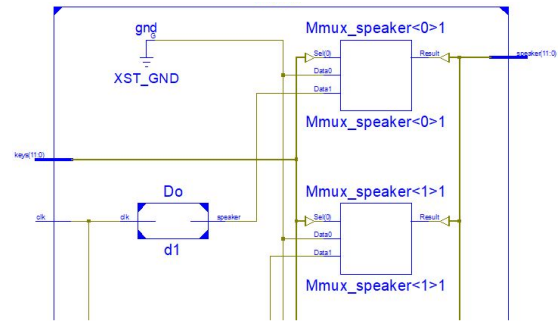


Figura 2: RTL Nota DO

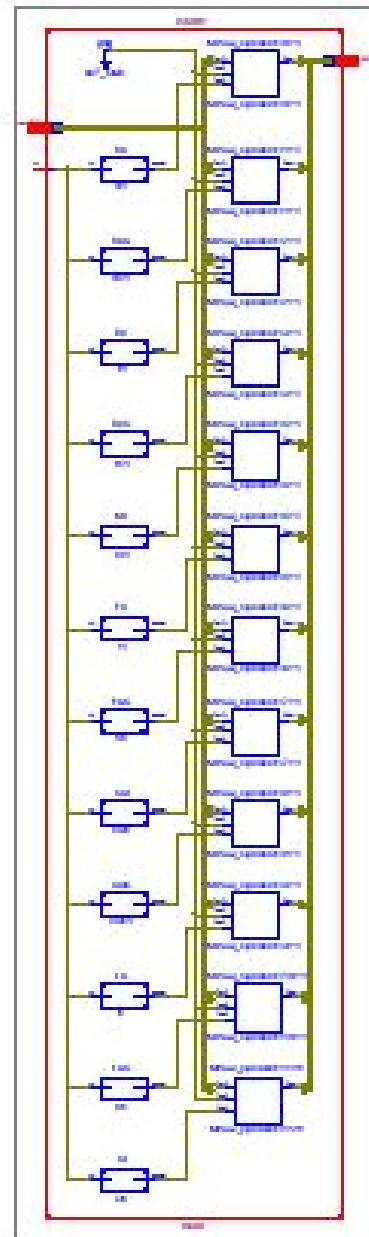


Figura 3: RTL Teclado Completo

Main: Modulo más importante, en él se instancian señales precedentes del módulo anti rebote, se instancian

también cada una de las notas pertenecientes a cada octava. Luego de estas instancias se procede a trabajar con un proceso always, dentro del cual se manejan estructuras de control que determinan qué tecla se ha presionado y por lo tanto qué señal es la que se enviará a la salida, dependiendo del selector de la octava, es decir, todo este bloque funciona a manera de multiplexor, en donde las señales de las teclas son las entradas, la descripción de hardware viene dada por las señales del slt y la salida será alguna de las señales que componen al speaker (determinada en función de las anteriores).

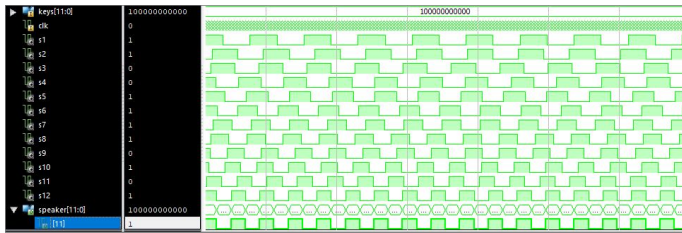


Figura 4: Simulación del modulo Main

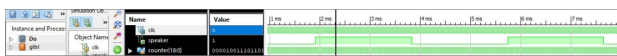


Figura 5: Simulación Nota DO

Para la parte física del dispositivo, se presentan las simulaciones realizadas mediante el programa Proteus y el diseño de la placa que ha sido impresa para el adecuado funcionamiento del piano.

En la siguiente simulación se presentan los componentes usados en la placa impresa, en este caso se presenta el diseño para la nota *SI* y se deja establecido en el diseño que para cada una de las notas que conforma el teclado se debe seguir una secuencia similar de componentes dispuestos en paralelo (condensadores - resistencias), para ello se tiene: en la Figura 6 el diseño de la nota *SI* en la FPGA, en la Figura 7 el diseño para la nota *SI* para el funcionamiento y en la Figura 8 el diseño de la placa a imprimir para la conexión de los componentes.

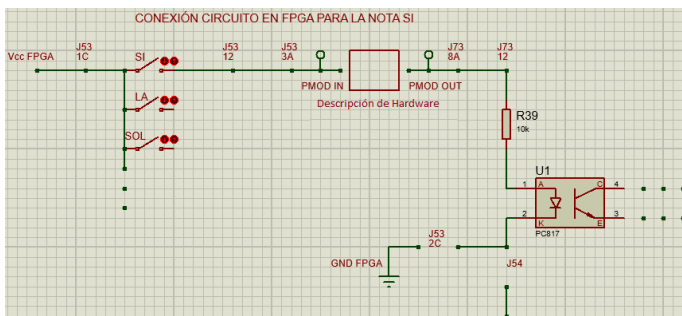


Figura 6: Diseño para la nota SI en FPGA

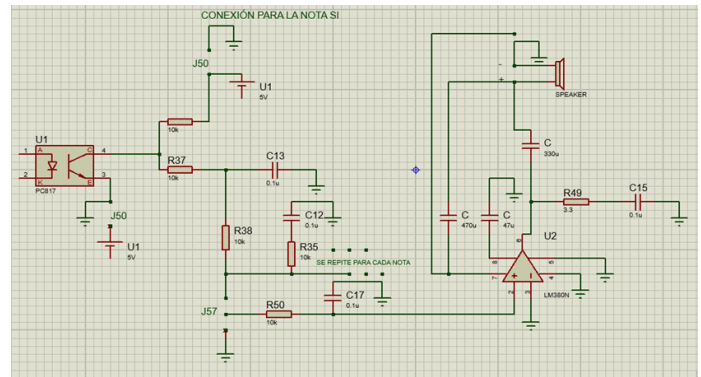


Figura 7: Diseño para la nota SI

Finalmente en la siguiente Figura se presenta el circuito impreso en la placa,

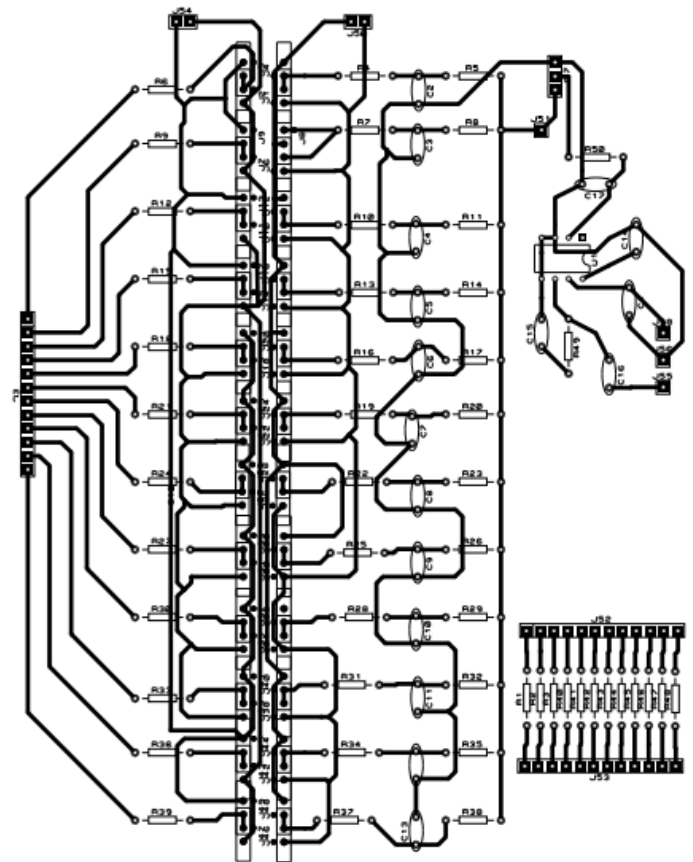


Figura 8: Placa piano

A continuación se presentan las imágenes de los montajes realizados para el funcionamiento del proyecto piano.

En la Figura 9 se presenta la placa impresa en PCB y con los componentes adecuadamente dispuestos en ella de acuerdo al diseño presentado en las Figuras 6, 7 y 8.

Los materiales empleados en la construcción de la placa son:

- Amplificador LM380.

- Filtro de salida para cada señal compuesto por 2 resistencias de $1k\Omega$ y 1 condensador de $47nF$ permitiendo la amplitud del uso de la frecuencia de salida de hasta $2kHz$.
- Acople de salida compuesto por el opto-acoplador PC817, 1 resistencia de $10k\Omega$, en el Drain del transistor del opto-acoplador, 1 resistencia de 100Ω en el Led del diodo del opto-acoplador.
- 12 pulsadores con tierra común y fuente común con 12 resistencias de $10k\Omega$. Tierra y Fuente de la FPGA (3.3V).
- Placa PCB de 17×15 cm, diseñada en ISIS de PROTEUS con el circuito del amplificador, el sumador de la señal, el filtro las salidas y las entradas a la FPGA.

su adecuado funcionamiento, cada uno de los cables está debidamente marcado de acuerdo a la nota que representa en la escala y al puerto de conexión al que corresponde.

Para poder ejecutar el piano se requiere de la Nexys 4 y de la descripción de hardware elaborada en ISE 14.7 y una fuente de alimentación que entregue dos salidas de +12V para el circuito de amplificación y salida de la señal.

Sí se desea cambiar la frecuencia que corresponde a las señales de las teclas del piano a fin de obtener una octava diferente, se debe tener en cuenta que a cada nota le corresponde una frecuencia específica y que dependiendo de la octava, esta aumenta tantas veces como la octava lo permita; este cambio sólo se puede realizar desde la descripción de hardware.



Figura 9: Conexión de la placa del piano

En la Figura 10 se tiene la conexión interna realizada para cada una de las teclas del piano, las cuales salen a las terminales que se conectan a la FPGA y a la Placa de la Figura 9, de acuerdo con el diseño establecido para



Figura 10: Conexión del piano

En la Figura 11 se presenta la construcción del Piano, en la que cada una de las teclas se sobrepone a un pulsador que cuenta con la conexión que representa cada una de las notas que se han mencionado para las doce teclas del dispositivo de acuerdo a las frecuencias ya establecidas en el Cuadro I.



Figura 11: Montaje Piano

Adicional a lo previamente presentado, como parte del proyecto se tiene la inclusión del dispositivo de emisión de audio que está dispuesto en la parte superior del piano y con el que finalmente se obtiene la emisión de sonidos, y con esto, la consecución del objetivo principal del desarrollo de este proyecto.

En el desarrollo del proyecto se presentaron algunos obstáculos, pero principalmente los mayores obstáculos se encontraron en la parte de descripción de hardware, debido a que este equipo de trabajo está compuesto por dos estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica y en este curso ha sido la primera experiencia con Verilog.

Otra de las dificultades ha estado en determinar de manera adecuada las frecuencias de las notas a las que cada una de las notas emitirá el correspondiente sonido.

Adicional a esto, y como una componente adicional en este semestre, se ha presentado una dificultad en el manejo del tiempo para poder desarrollar de manera adecuada el proyecto, ya que la anormalidad académica influyó en un retraso en la programación que se tenía establecida inicialmente para la implementación del proyecto, ni para conseguir uno de los propósitos iniciales como lo era el generar una memoria y grabar una secuencia de sonidos tocados en el piano para luego reproducirlos.

En cuanto a la parte física, se presentaron dificultades en hallar un filtro que no restringiera el uso de frecuencias por debajo de 2kHz o 3kHz, el uso de 2 fuentes para alimentar el amplificador y el circuito de acople de las salidas es un poco tedioso, el sistema mecánico de pulsadores es muy rígido al momento de tocar el piano, las conexiones realizadas son propensas a fallos o desconexión y el uso de diferentes

condensadores para los filtros de señal hace que el volumen de cada sonido se modifique.

VII. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

La metodología para el desarrollo del proyecto fue un tanto difusa, debido a los inconvenientes planteados en la sección anterior, sin embargo, a pesar de dichas dificultades se procuró seguir el cronograma inicialmente planteado, y con ello una metodología que se describe como sigue:

Después de una familiarización con el programa de simulación a través de las prácticas de laboratorio, se procedió al planteamiento del proyecto, pensando en una aplicación en la que se usara lo aprendido y que generara algún beneficio a la población, por lo que se decidió la realización de este proyecto.

En seguida, se procedió a generar la formulación y a implementar el diseño tanto físico como teórico de lo que sería el dispositivo y con ello a generar la descripción de hardware y los periféricos que componen el proyecto, además de generar el diseño del circuito de conexión del teclado y la correspondiente simulación y validación de funcionamiento.

Con los diseños planteados, se procedió a la compra de los materiales, a la implementación en la placa del circuito y a realizar las conexiones del teclado y la construcción del piano.

Finalmente, se realizaron las pruebas de funcionamiento y acople del piano con la descripción de hardware realizada, para finalmente presentar el dispositivo final y funcional de acuerdo a los objetivos planteados.

VIII. CRONOGRAMA

En esta sección se presenta el cronograma general con el que se llevó a cabo la elaboración del proyecto.

	Septiembre		Octubre				Enero		Febrero		
Semana	4	5	1	2	3	4	4	5	1	2	3
Actividades											
Práctica 1	X										
Práctica 2		X									
Práctica 3			X								
Práctica 4				X							
Práctica 5					X						
Formulación			X	X	X	X					
Entrega 1						X					
Diseño					X	X	X				
Pruebas Lab					X	X	X	X			
Materiales						X	X	X			
Prueba Funcionamiento								X	X	X	
Entrega 2										X	
Entrega Final											X

Figura 12: Cronograma elaboración proyecto Piano

En el cronograma de la Figura 12 se incluyen las prácticas de laboratorio de la 1 a la 5, ya que estas fueron fundamentales

para el entendimiento del lenguaje de descripción de hardware (Verilog) con el que se trabajó en el proyecto y para el manejo de la Nexys 4.

Además, se tomaron varias semanas dentro de este para la etapa de diseño, debido a que dicho diseño se fue modificando de acuerdo a las necesidades del proyecto y a las ventajas o desventajas de los componentes a usar que se fueron encontrando a medida que se realizaron las pruebas en el laboratorio junto con el material de la universidad. Por esta misma razón, se tomaron varias semanas para realizar las pruebas e ir haciendo modificaciones.

La adquisición de los materiales para el montaje final se llevó a cabo cuando se tuvo un diseño final funcional, por este motivo se dejó casi al final del calendario programado.

Por último, con el diseño terminado e implementado, se realizaron pruebas de funcionamiento del piano y se procedió a plasmar la información sobre todo el proceso antes mencionado en el documento para la entrega final.

IX. CONCLUSIONES

- Este informe compone un trabajo realizado a lo largo del semestre, en él se plasma el diseño e implementación realizado y con ello las dificultades que todo proyecto conlleva, como el incumplimiento en los plazos estipulados, los componentes externos que pueden afectar el adecuado desarrollo y la ejecución del proyecto, el conseguir los materiales adecuados que permitan el óptimo funcionamiento del dispositivo y todo tipo de factores que impactan en cada una de las etapas del proyecto.
- Se encuentra que al relacionar la parte de descripción de hardware con el diseño de circuitos se pueden generar proyectos educativos y de gran beneficio, aplicando la ingeniería de manera óptima y generando proyectos de gran calidad técnica y científica.
- La FPGA permite implementar gran variedad de diseños en estructuras mecánicas. El proyecto del piano es en gran parte implementación de los conocimientos adquiridos en el curso de Electrónica Digital I, el diseño del piano permitió dar un vistazo a la construcción y sintetización de un instrumento y sus sonidos.
- Se tiene que algunos de los dispositivos para la programación como lo es la Nexys, tiene un costo que puede resultar elevado para una persona particular, pero que se puede beneficiar de sus cualidades mediante los recursos de la universidad o de empresa privada.
- Con el dispositivo final que se ha obtenido, se puede cumplir el objetivo del proyecto, brindando una herramienta llamativa para niños y que además puede motivar al aprendizaje acerca de la música o con la que

se pueden detectar otros problemas no sólo motrices sino de audición.

- Se demuestra que a través de la ingeniería y de la aplicación de los conocimientos, se puede generar un beneficio social de apoyo a la comunidad y que para ello no se requiere de una gran cantidad de recursos económicos.

REFERENCIAS

- [1] Morris, M, Ciletti, M. Digital Design, With an Introduction to the Verilog HDL. Quinta edición. Pearson. 2013.
- [2] Peña, J, Uchuari, D. Recuperado de: <http://pianofpgautpl.blogspot.com/2018>
- [3] Min, R, The Electronic Piano Design Based on FPGA and PS2 Interface. Recuperado de: <https://ieeexplore-ieee.org.ezproxy.unal.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=arnumber=6455376> 2018
- [4] Chacon, J, Music and the Brain – Design of an MEG Compatible Piano. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=arnumber=8036876>