



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**Diseño del case de un panel concebido para la enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales diferentes, basado en la utilización de fichas tipo LEGO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**AUTORES:** Mena Medina, José Luis.  
Romero Villamagua, Jonathan Andrés.

**DIRECTOR:** Jaramillo Pacheco, Jorge Luis

LOJA – ECUADOR

2016



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

Septiembre, 2016



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

Septiembre, 2015

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Ingeniero.

Jorge Luis Jaramillo Pacheco

### **DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

En el presente trabajo de titulación: “Diseño del case de un panel concebido para la enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales diferentes, basado en la utilización de fichas tipo LEGO.” realizado por los profesionales en formación: Mena Medina José Luis y Romero Villamagua Jonathan Andrés; ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, enero de 2016

f).....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Mena Medina José Luis y Romero Villamagua Jonathan Andrés, declaramos ser autores del presente trabajo de titulación: “Diseño del case de un panel concebido para la enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales diferentes, basado en la utilización de fichas tipo LEGO”, de la Titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, siendo el Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f. ....

Autor: Mena Medina José Luis

Cédula: 1105004509

f. ....

Autor: Romero Villamagua Jonathan Andrés

Cédula: 0706449543

## DEDICATORIA

*El presente trabajo, lo dedico a mi madre y hermana, Rosa y Wilma, por ser quienes me apoyaron día a día y me supieron guiar para cumplir con mis objetivos. A mi hermano, que me ha enseñado a ser una mejor persona. A mi sobrino, que con su presencia llena de alegría mi vida y me inspira a seguir adelante. A mis amigos que supieron estar en los momentos difíciles.*

*José Luis*

*El presente trabajo se lo dedico a Dios, que diariamente me ha guiado por el camino correcto para cumplir mis metas, a mis abuelos por brindarme su apoyo incondicional, a mi madre y mis tíos que siempre han sabido inculcarme el camino del bien, a mis amigos que siempre han estado cuando más los he necesitado.*

*Jonathan Andrés*

## **AGRADECIMIENTO**

*Queremos agradecer a Dios, por permitirnos llegar a esta meta, por darnos inteligencia y sabiduría a lo largo de nuestra vida. A nuestros padres por ser las personas que nos apoyan incondicionalmente y nos apoyan en todo momento.*

*También queremos agradecer al Ing. Jorge Luis Jaramillo, por ser el guía en nuestra formación profesional, por brindarnos su apoyo y compartirnos su conocimiento y dedicación.*

*Finalmente, queremos agradecer a cada uno de los docentes que nos compartieron sus experiencias durante nuestra formación profesional. A nuestros compañeros de aula, que compartimos momentos alegres e inolvidables, y nos brindaron su ayuda cuando la necesitamos.*

José Luis y Jonathan Andrés.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	4
1. A MANERA DE RESUMEN SOBRE LA OPTIMIZACIÓN DEL PANEL ORIGINAL.....	4
1.1. Sobre la necesidad de optimizar el diseño original.....	5
1.2. Requerimientos generales para el diseño del nuevo panel.....	10
1.3. Diseño a detalle de las fichas a utilizar en el panel .....	14
1.4. Programación de la ingeniería de detalle del panel.....	15
CAPITULO II.....	16
2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CASE .....	16
2.1 Definición del problema a resolver .....	17
2.2 Identificación de alternativas de solución.....	18
2.3 Determinación de criterios para la elección de una alternativa .....	25



2.4	Evaluación de alternativa.....	25
2.5	Elección de la alternativa.....	26
2.6	Desarrollo de la alternativa seleccionada .....	26
2.7	Evaluación de resultados.....	29
CONCLUSIONES.....		30
BIBLIOGRAFÍA.....		31
ANEXOS.....		33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 Versión original del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. ....	5
Figura 1. 2 Primera opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales.....	6
Figura 1. 3 Segunda opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales.....	6
Figura 1. 4 Tercera opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales.....	7
Figura 1. 5 Cuarta opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. ....	7
Figura 1. 6 Quinta opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. ....	8
Figura 1. 7 Sexta opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. ....	9
Figura 1. 8 Tablero del panel electrónico optimizado.....	10
Figura 1. 9 Vista superior y lateral izquierda del tablero. ....	11
Figura 1. 10 Vista general de una ficha del tablero. ....	12
Figura 1. 11 Vista lateral derecha de una pieza LEGO 4 x 2. ....	12
Figura 1. 12 Vista inferior de una pieza de LEGO 4 x 2.....	13
Figura 1. 13 Vista lateral izquierda de una pieza de LEGO 4 x 2. ....	13
Figura 1. 14 Vista general del tablero y de las fichas.....	14
Figura 1. 15 Vista de planta de ficha seleccionada. ....	15

Figura 2. 1 Metodología de diseño e implementación del case. ....	17
Figura 2. 2 Vista general de la caja propuesta para el case. ....	18
Figura 2. 3 Vista general de la tapa propuesta para el case. ....	19
Figura 2. 4 Segmentación de la impresión del case en el equipo 3D Makerbot Replicator 2X. ....	20
Figura 2. 5 Defectos en la impresión de la tapa del case relacionadas con problemas mecánicos en la impresora 3D Makerbot Replicator 2X. ....	20
Figura 2. 6 Deformación de la impresión causada por problemas en la regulación térmica de la impresora 3D Makerbot Replicator 2X. ....	20
Figura 2. 7 Segmentación de la impresión del case en la impresora 3D Cubex. ....	22
Figura 2. 8 Defectos en la impresión de la tapa del case relacionadas con temperatura en la impresora 3D Cubex. ....	22
Figura 2. 9 Deformación de la impresión en la impresora 3D Cubex causada por la falta de adherencia a la placa de impresión ....	23
Figura 2. 10 Panel construido manualmente en acrílico. ....	23
Figura 2. 11Diseño de la tapa del case utilizando el aplicativo Adobe Illustrator. ....	24
Figura 2. 12 Fabricación del case en madera, utilizando una máquina cortadora - grabadora láser. ....	25
Figura 2. 13 Geometría del case a implementar como PMV. ....	26
Figura 2. 14 Geometría del orificio para acoplamiento de sensores. ....	27
Figura 2. 15 Geometría del orificio para acoplamiento de fichas LEGO. ....	27
Figura 2. 16 Geometría del panel. ....	28
Figura 2. 17 PMV ensamblado. ....	29

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1 Análisis comparativo de las opciones presentadas.....	9
Tabla 2. 1 Geometría del bloque de identificación electrónica.....	18
Tabla 2. 2 Geometría de la caja para el case diseñado.....	19
Tabla 2. 3 Geometría de la tapa para el case diseñado.....	19
Tabla 2. 4 Geometría del segmento de la tapa para el case diseñado. ....	21
Tabla 2. 5 Inversión en la impresión 3D de los prototipos uno y dos del case diseñado.....	21
Tabla 2. 6 Geometría del case construido manualmente en acrílico .....	24
Tabla 2. 7 Costo de la construcción manual del case en acrílico .....	24
Tabla 2. 8 Costo de la construcción del case en madera utilizando una máquina cortadora – grabadora láser. ....	25
Tabla 2. 9 Evaluación de alternativas y selección del prototipo óptimo.....	26
Tabla 2. 10 Geometría del case construido.....	28

## RESUMEN

En este documento se describe los resultados obtenidos en la fase de diseño e implementación del caso de un panel electrónico para la enseñanza de matemáticas básicas a niños con capacidad visual especial, basado en la utilización de fichas tipo LEGO.

**PALABRAS CLAVES:** *enseñanza de matemáticas, enseñanza de matemáticas a niños con capacidad visual especial, paneles electrónicos, LEGO.*

## **ABSTRACT**

The current document describes the obtained results in the design and implementation of an electronic panel case for basic math teaching directed to children with special visual capacity which is based in the use of LEGO chips.

**KEYWORDS:** math teaching, math teaching directed to children with special visual capacity, electronic panels, LEGO.

## INTRODUCCIÓN

En septiembre de 2013, personal de la Sección de Electrónica y Telecomunicaciones del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, y de la Sección de Diseño, Proyectos Arquitectónicos y Urbanismo del Departamento de Arquitectura y Artes, de la Universidad Técnica Particular de Loja, decidieron colaborar en el diseño e implementación de un panel electrónico para la enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. Como resultado, se desarrolló el panel electrónico que se muestra en la Figura 1.1, y que se describe en [1].

La evaluación de desempeño del panel desarrollado mostró que se cumplía con las especificaciones funcionales, pero se presentaban problemas operativos, especialmente en relación a la manipulación de las fichas. En este contexto, en marzo de 2014 se acordó optimizar el panel, obteniendo los resultados descritos en trabajos previos [2], [3].

Luego, dando continuidad a la programación del proyecto, se inició la fase de diseño del case del panel, bajo las premisas de superar los problemas identificados en la versión original del proyecto [1], y observar criterios de durabilidad, estética y maniobrabilidad. En este documento se recoge los resultados obtenidos en esta fase.

Este documento, dividido en 2 capítulos, describe los resultados obtenidos en el diseño e implementación del case. En el primer capítulo se presenta, a manera de resumen, los resultados obtenidos al analizar diversas opciones tecnológicas para la optimización del panel original, y se muestra los resultados obtenidos en la fase de conceptualización de un nuevo panel, y el tipo de fichas a utilizar.

En el segundo capítulo se describe los resultados obtenidos en la fase de diseño del case de un panel electrónico para la enseñanza de matemáticas básicas a niños con capacidad visual especial, basado en la utilización de fichas tipo LEGO.

Como metodología de abordaje para el diseño e implementación, el equipo de trabajo decidió adaptar el abordaje propuesto por Gerardo Rodríguez [11], conformado por 7 etapas y resumido en la Figura 2.1.

## **CAPÍTULO I**

### **1. A MANERA DE RESUMEN SOBRE LA OPTIMIZACIÓN DEL PANEL ORIGINAL**



## 1.1. Sobre la necesidad de optimizar el diseño original

Debido a los problemas presentados en el panel implementado (ver Figura 1.1) se identificaron necesidades de optimización: disminución del volumen y peso de las fichas, integración de identificadores decimales y código Braille, reducción del desgaste de contactos en el circuito impreso, y diversificación en el uso de colores [1].

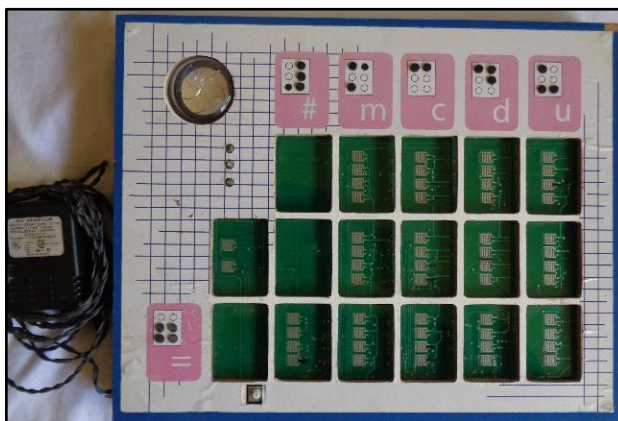


Figura 1. 1 Versión original del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales.

Fuente: [1]

Conocidas las necesidades de optimización, se formularon 6 diferentes propuestas tecnológicas. En la **primera opción** se propuso conservar las características de funcionamiento del panel original e incorporar un switch de encendido y apagado. El usuario ingresa los operandos presionando los pulsadores ubicados en el tablero, tal como se muestra en la Figura 1.2. Luego, selecciona el operador matemático, e indica la respuesta expresada en unidades, decenas y centenas. Al oprimir el operador “igual” y la tecla “comprobar”, se escucha el mensaje “correcto” para una operación válida, o “incorrecto” para una operación errónea. El usuario puede resetear los pulsadores, para ejecutar la operación nuevamente.

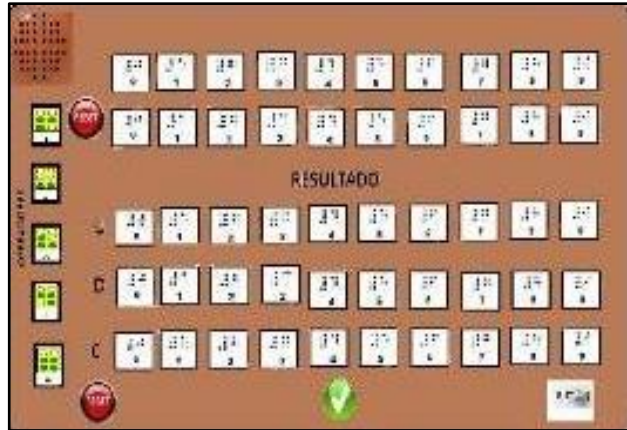


Figura 1. 2 Primera opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales.  
**Fuente:** Autores.

En la **segunda opción**, se pretende llamar la atención de los niños para facilitar el aprendizaje, por lo que se utiliza un panel electrónico integrado a un oso de peluche. El panel opera de forma similar a lo descrito en el apartado anterior (ver Figura 1.3).



Figura 1. 3 Segunda opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales.  
**Fuente:** Autores.

En la **tercera opción** se presenta un paradigma diferente al panel original, en el que dos jugadores participan identificándose cada uno de ellos con el color verde o azul respectivamente. Se utiliza un tablero con pulsadores (que contienen números entre uno y veinte), y tres dados (dos para los operandos y uno para las operaciones). El tablero y los

dados están identificados con código braille. El jugador lanza los dados. El procedimiento y el resultado se ingresa en el tablero, y, se verifica la correcta ejecución (ver Figura 1.4).

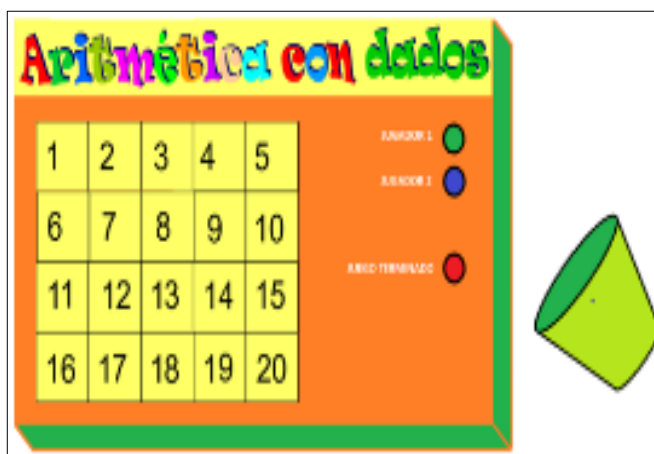


Figura 1. 4 Tercera opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales.

Fuente: Autores.

En la **cuarta opción**, para iniciar se presiona el botón "inicio", y el panel da a conocer, mediante audio, un número aleatorio. El usuario identifica dos operandos y una operación, que se ingresan al panel presionando los pulsadores del tablero. Si los operandos y la operación ingresada son correctos, se escuchará "correcto", caso contrario se indicará "incorrecto", y se generará un nuevo número aleatorio (ver Figura 1.5).



Figura 1. 5 Cuarta opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales.

Fuente: Autores.

La **quinta opción** se basa en el funcionamiento del juego “sudoku”, adaptándolo con numeración Braille (ver Figura 1.6). Este juego utiliza una tabla de 9x9, compuesta por bloques denominados también subtablas de 3x3. Algunas celdas contienen números dados. El juego tiene por objetivo completar las celdas vacías, de forma tal que cada columna, fila, y región contenga números del 1 al 9 una sola vez. El tablero contendrá los botones “empezar” y “evaluar”. La rutina de comprobación terminará con un mensaje de “correcto” o “incorrecto”.

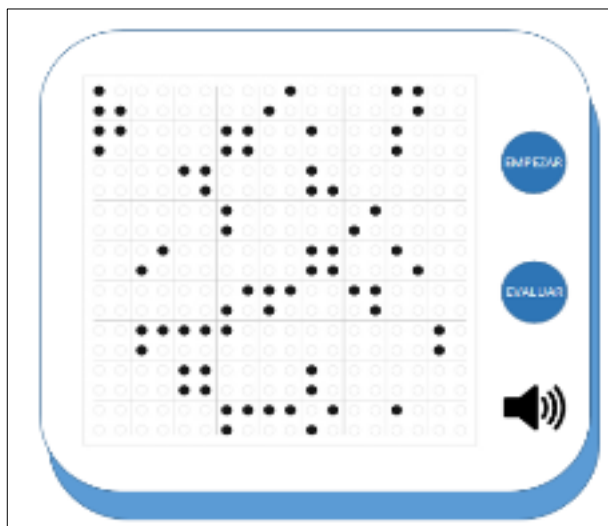


Figura 1. 6 Quinta opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales.

**Fuente:** Autores.

En la **sexta opción** se adapta fichas tipo LEGO al panel electrónico, con lo que se pretende reducir el desgaste prematuro de los contactos en los circuitos impresos. Se utiliza un tablero y diversas fichas (números y operaciones matemáticas). Las fichas se colocan en el tablero en la lógica: primer operando, segundo operando, operación, solución, y, comprobación (ver Figura 1.7).

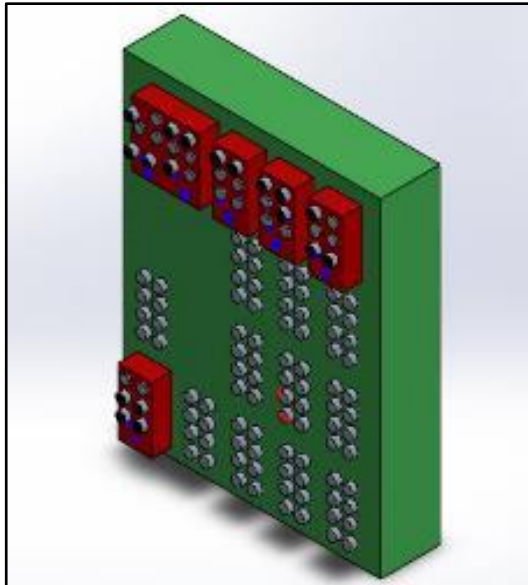


Figura 1. 7 Sexta opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales.  
**Fuente:** Autores.

Las opciones señaladas se analizaron identificando potenciales inconvenientes de orden mecánico, y limitaciones en el número de cifras significativas de operandos y resultados. La Tabla 1.1 muestra las ventajas y desventajas de cada una de las opciones. Como resultado se seleccionó la **sexta opción**, considerando sobre todo la ampliación de las potencialidades en la enseñanza de las matemáticas que esta brinda.

Tabla 1. 1 Análisis comparativo de las opciones presentadas.

Opción	Ventajas	Desventajas
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elementos no móviles</li> <li>Se puede verificar que pulsadores están activados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se puede activar 2 pulsadores simultáneamente</li> <li>Desgaste prematuro</li> <li>Sistema mecánico complejo</li> <li>Gran tamaño</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elementos no móviles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste prematuro</li> <li>Sistema mecánico complejo</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste limitado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación compleja</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste limitado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación compleja</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste limitado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema complejo</li> <li>Operación compleja</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste limitado</li> <li>Manipulación intuitiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación compleja</li> </ul>

**Fuente:** Autores.

## 1.2. Requerimientos generales para el diseño del nuevo panel

En el grupo beneficiario de este proyecto, existen menores con ceguera parcial por lo que se consideró incluir en el diseño colores vivos. Además, se decidió incluir elementos estimulantes al tacto (codificación Braille) y al oído (sonidos “respuesta correcta” y “respuesta incorrecta”) [4], [5].

Al igual que en la versión original, el panel permitirá ejecutar las cuatro operaciones básicas (suma, resta, multiplicación y división). El panel constará de un tablero con una disposición de 5 columnas y 4 filas, y de una sección de encendido y sonorización, (ver Figura. 1.8).

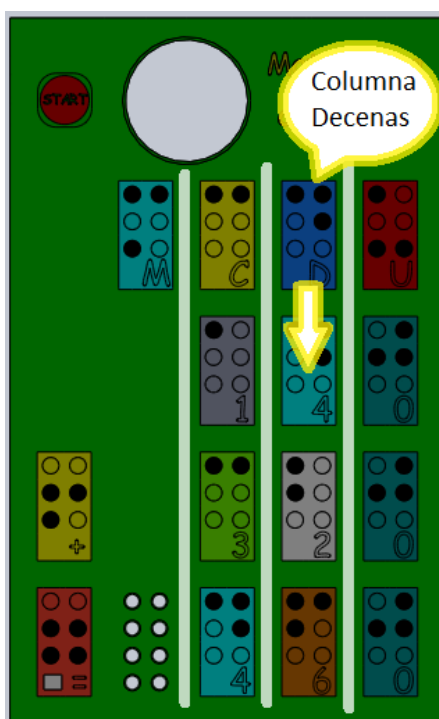


Figura 1. 8 Tablero del panel electrónico optimizado.

Fuente: Autores.

Desde la derecha, las columnas del tablero permitirán ubicar las fichas correspondientes a unidades, decenas, centena, y, miles. En la primera fila, en cada columna, permanecerán fijas las fichas que señalan el valor posicional de la columna.

En la última columna, a la izquierda del tablero, se ubicarán las fichas correspondientes a la operación aritmética a realizar (tercera fila desde arriba del tablero). En la posición quinta columna y cuarta fila, permanecerá fija la ficha de resultado de operación, construida sobre un pulsador.

En la sección de encendido y sonorización, ubicada en la parte superior del tablero, se encontrará el botón de inicio (START) y un parlante, que servirá para comunicar lo acertado o no de la operación efectuada.

Las fichas correspondientes a los operandos y al resultado, podrán ocupar exclusivamente posiciones predeterminadas en el tablero. La Figura 1.9 muestra el diseño del tablero, que corresponde al estándar de una pieza tipo LEGO.

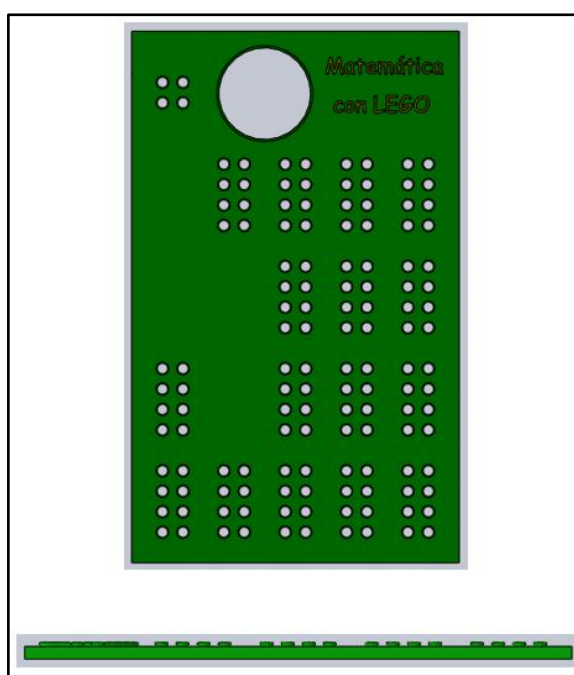


Figura 1. 9 Vista superior y lateral izquierda del tablero.

**Fuente:** Autores

En cada ficha de los operandos, se imprimirá el valor absoluto de la misma (de 0 a 9), en Braille (en la parte superior de la ficha) y en números arábigos (en la parte inferior de la ficha), tal como lo muestra la Figura 1.10.

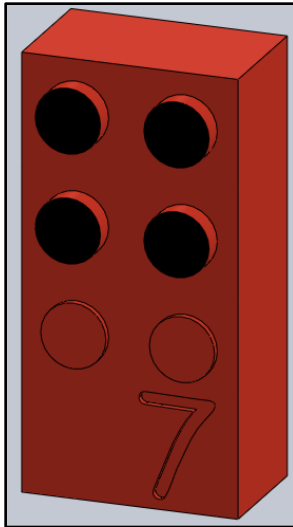


Figura 1. 10 Vista general de una ficha del tablero.

Fuente: Autores.

La geometría de cada una de las fichas corresponde al estándar de una pieza LEGO (ver Figura 1.11 a la 1.13).

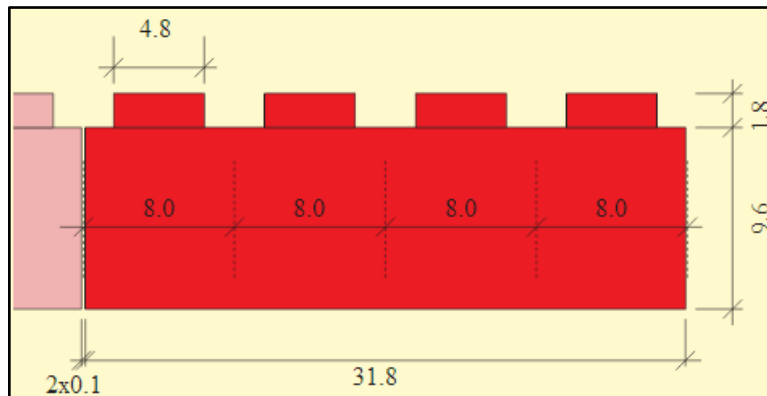


Figura 1. 11 Vista lateral derecha de una pieza LEGO 4 x 2.

Fuente: [6]



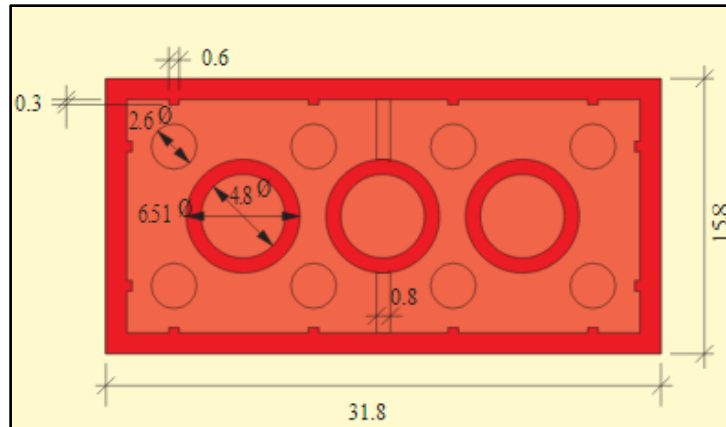


Figura 1. 12 Vista inferior de una pieza de LEGO 4 x 2  
Fuente: [6]

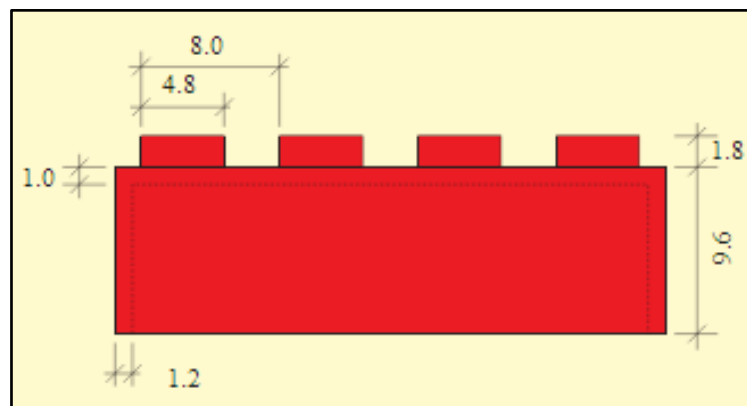


Figura 1. 13 Vista lateral izquierda de una pieza de LEGO 4 x 2.  
Fuente: [6]

Adicionalmente, se diseñó fichas para las operaciones matemáticas básicas, y, para el reconocimiento de las posiciones. La Figura 1.14 muestra el ensamblaje de las fichas sobre el tablero.

En otro contexto, al beneficio que brinda las fichas tipo LEGO (múltiples combinaciones y las distintas estructuras que se logran crear con un grupo básico de piezas), se suma el desarrollo de habilidades motrices y la adquisición de conceptos espaciales, como volumen, tamaño y formas geométricas [7]. Los infantes se sienten atraídos por la idea de aprender divirtiéndose, condición totalmente válida para niños con capacidad visual especial, esta opción se propone adaptar fichas tipo lego en el panel electrónico. Al utilizar las fichas tipo lego se pretende reducir el desgaste prematuro de los contactos en los circuitos impresos en el bloque de control, de tal forma que el panel tenga durabilidad.

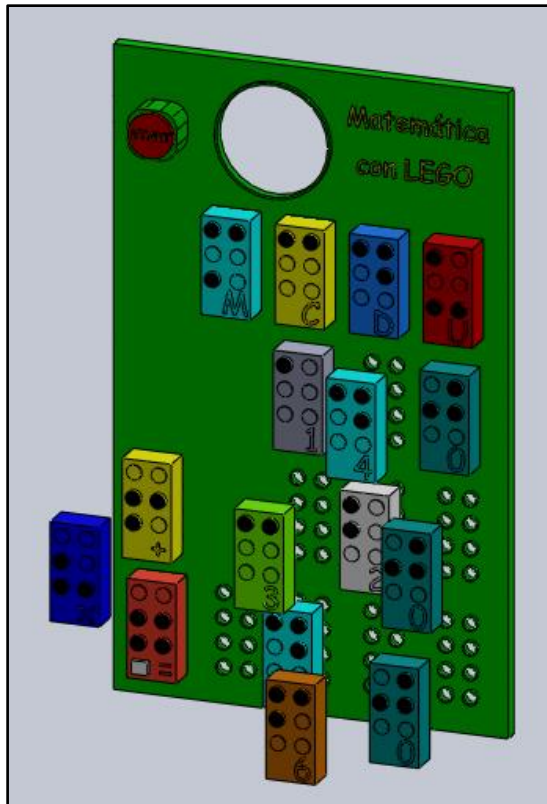


Figura 1. 14 Vista general del tablero y de las fichas.

Fuente: Autores.

### 1.3. Diseño a detalle de las fichas a utilizar en el panel

Considerando el grado de desarrollo de la capacidad táctil en el grupo beneficiario del proyecto, y, los requerimientos de estética planteados por el equipo de trabajo, se decidió plantear al menos 4 posibles diseños de fichas, de entre las cuales se escogería la opción óptima.

Debido a la disponibilidad de software y equipos, se decidió imprimir las fichas en 3D, utilizando los recursos del aplicativo Solidworks [8], y, de la impresora 3D tipo Makerbot Replicator 2X [9].

Para seleccionar la opción óptima del diseño de las fichas a utilizar en el panel, se decidió someter las impresiones al análisis del grupo beneficiario del proyecto. Se trabajó con los niños del cuarto año de educación básica del “Instituto para Ciegos Byron Eguiguren”. Este grupo está conformado por 6 menores, de los cuales 3 tienen capacidad visual especial. A cada uno de los niños se le pidió manipular las diferentes fichas impresas, recogiendo sus impresiones. Adicionalmente, se solicitó una apreciación a la tutora del grupo, una docente con 15 años de experiencia en el Instituto. Como resultado se pudo inferir que la opción óptima

está representada en una ficha con los cilindros significativos para la codificación Braille con perfil redondeado, y, con el número arábigo impreso en bajo relieve (ver Figura 1.15).

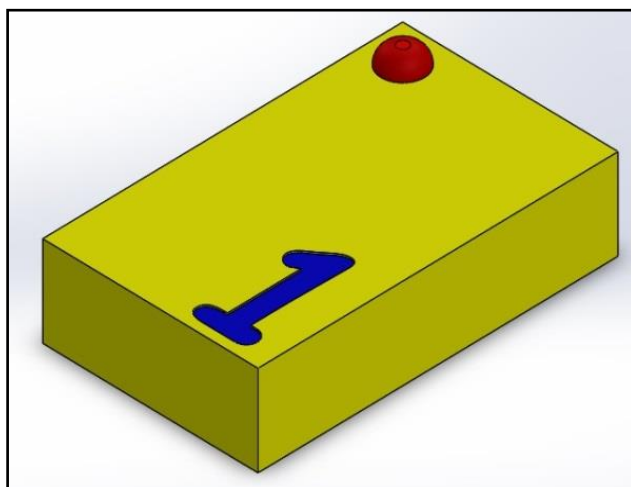


Figura 1. 15 Vista de planta de ficha seleccionada.  
Fuente: Autores.

#### 1.4. Programación de la ingeniería de detalle del panel

Establecida la conceptualización y el diseño de fichas tipo LEGO del panel, se decidió proseguir con el diseño e implementación de un prototipo del panel electrónico. Para este fin, en septiembre de 2014 se conformaron cuatro grupos de trabajo, encargándoles el diseño e implementación del panel, el diseño e implementación del bloque de identificación electrónica de fichas, el diseño e implementación del algoritmo de control del panel, y, el análisis de resultados.

## **CAPÍTULO II**

### **2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CASE**

## 2.1 Definición del problema a resolver

Como metodología de abordaje para el diseño e implementación, el equipo de trabajo decidió adaptar el abordaje propuesto por Gerardo Rodríguez [11], conformado por 7 etapas y resumido en la Figura 2.1.

Con la intención de superar problemas existentes en un prototipo anterior, se decidió utilizar el concepto de fichas tipo LEGO para esta nueva versión. En esta etapa del proyecto, se requiere diseñar un case resistente, compacto y maniobrable, sin descuidar los aspectos estéticos.

El case proporcionará operatividad a las fichas tipo LEGO, y facilitará la interacción entre las fichas y los componentes del bloque de identificación electrónica [12], sus características se muestran en la Tabla 2.1.

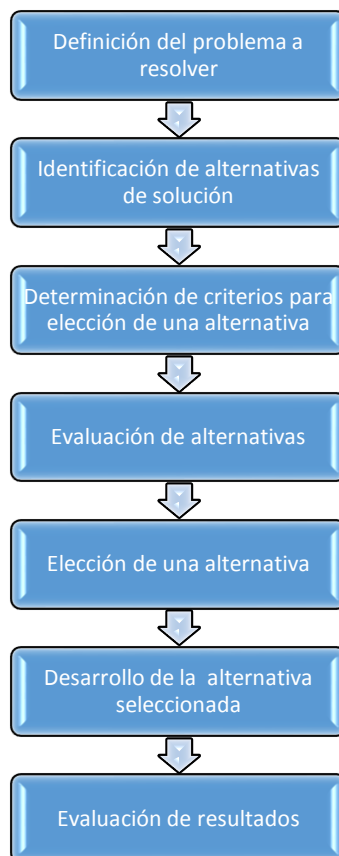


Figura 2. 1 Metodología de diseño e implementación del case.

**Fuente:** Autores.

Tabla 2. 1 Geometría del bloque de identificación electrónica

Ítem	Descripción	Ancho x largo (mm)
1	Circuito de operación y señales luminosas	235 x 175
2	Circuito de alimentación y señales de audio	34 x 50
3	Bloque de control	80 x 80
4	Parlante	76 diámetro
5	Iluminación LED	Incluido en el circuito de operación y señales luminosas
6	Switch, Jack	20 x 20

Fuente: Autores

## 2.2 Identificación de alternativas de solución

Para el diseño se utilizó el aplicativo SolidWorks [8], con cuya ayuda se modeló un case conformado por una caja (ver Figura 2.2 y Tabla 2.2) y una tapa (ver Fig.2.3 y Tabla 2.3). La caja contiene los componentes electrónicos y facilita colocar un interruptor de encendido y un conector de alimentación. El diseño de la tapa facilita el acoplamiento de los sensores del bloque de identificación electrónico, la inserción de los circuitos para señalización luminosa, y la inclusión del dinámico para salida de audio.

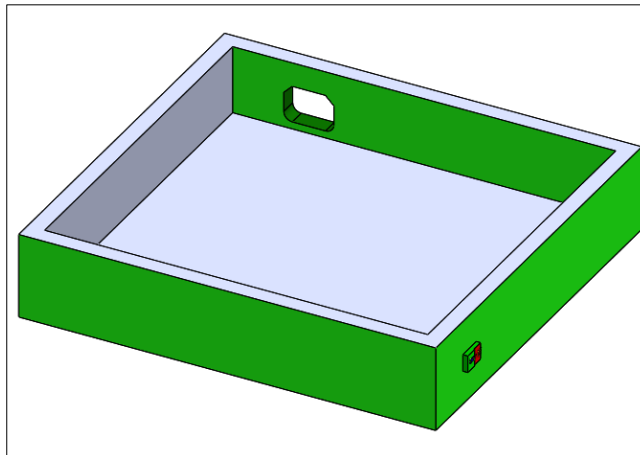


Figura 2. 2 Vista general de la caja propuesta para el case.

Fuente: Autores

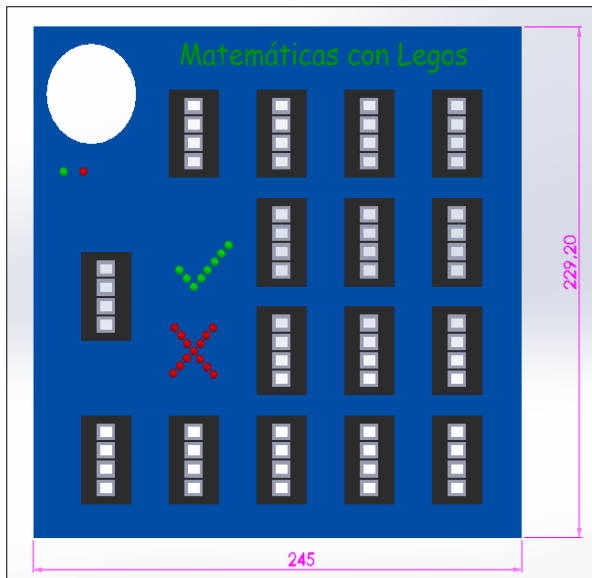


Figura 2. 3 Vista general de la tapa propuesta para el case.

Fuente: Autores.

Tabla 2. 2 Geometría de la caja para el case diseñado

Parámetro	Longitud, mm
Ancho	245.00
Largo	229.20
Profundidad	50.00
Espesor	10.00

Fuente: Autores

Tabla 2. 3 Geometría de la tapa para el case diseñado

Parámetro	Longitud, mm
Ancho	245.00
Largo	229.20
Diámetro del orificio del parlante	45.00
Ancho del orificio para las fichas	25.00
Largo del orificio para las fichas	39.80

Fuente: Autores

Para construir un primer prototipo, la caja y la tapa del case se imprimieron en un equipo 3D Makerbot Replicator 2X [9], disponible en el Laboratorio de Prototipos de la Sección de Electrónica y Telecomunicaciones del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica. Debido a limitaciones en las dimensiones de la placa de impresión, se dividió la impresión en 4 segmentos tal como lo muestra la Figura 2.4. Las Figuras 2.5 y 2.6 muestran que los resultados obtenidos no fueron satisfactorios debido a problemas en el sistema mecánico y de regulación de temperatura de la impresora. Esta impresora utiliza plástico ABS genérico [10] para la impresión.

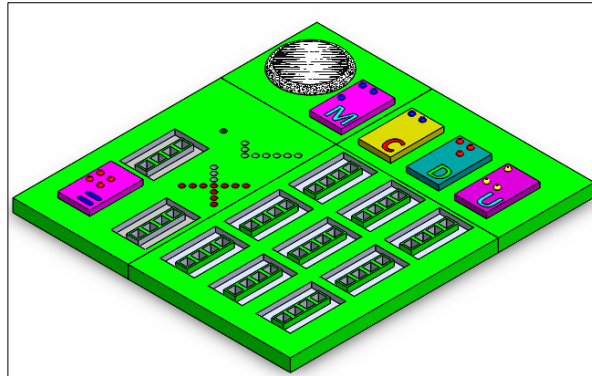


Figura 2. 4 Segmentación de la impresión del case en el equipo 3D Makerbot Replicator 2X.  
**Fuente:** Autores.

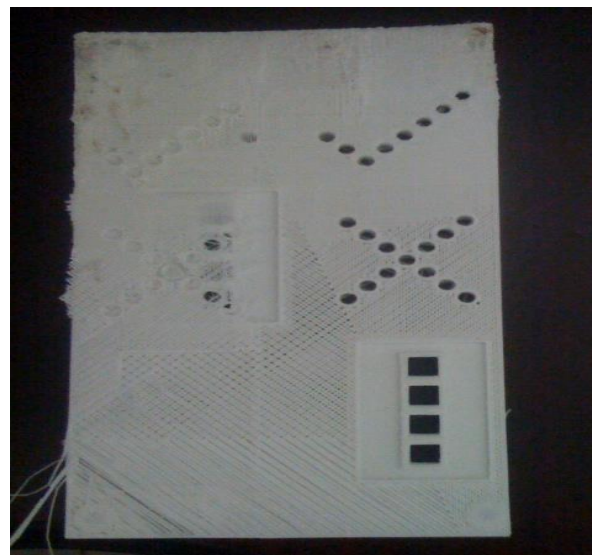


Figura 2. 5 Defectos en la impresión de la tapa del case relacionadas con problemas mecánicos en la impresora 3D Makerbot Replicator 2X.  
**Fuente:** Autores.



Figura 2. 6 Deformación de la impresión causada por problemas en la regulación térmica de la impresora 3D Makerbot Replicator 2X.  
**Fuente:** Autores



Se decidió entonces construir un segundo prototipo empleando una impresora existente en el Laboratorio de Ciencias de los Datos, correspondiente al modelo 3D Cubex [13]. La geometría del case se adaptó a la nueva impresora, tal como lo muestra la Tabla 2.4. La Figura 2.7 muestra la segmentación de la impresión. Los resultados de impresión tampoco fueron satisfactorios debido a problemas en el control de temperatura de la impresora y a la falta de adherencia con la placa de impresión (ver Figura 2.8 y 2.9). Esta impresora utiliza plástico ABS provisto exclusivamente por el fabricante del equipo. La Tabla 2.5 detalla la inversión realizada por el equipo de trabajo en las impresiones 3D fallidas del prototipo uno y dos.

Tabla 2. 4 Geometría del segmento de la tapa para el case diseñado.

Parámetro	Longitud, mm
Ancho	240.00
Largo	149.00
Diámetro del orificio del parlante	5.00
Ancho del orificio para las fichas	32.00
Largo del orificio para las fichas	52.00

Fuente: Autores

Tabla 2. 5 Inversión en la impresión 3D de los prototipos uno y dos del case diseñado.

Cantidad	Descripción	VU, USD	VT, SD
2	ABS[8]	120.00	240.00
1	Resina, pegamento en barra	35.00	35.00
<b>Total</b>			<b>275.00</b>

Fuente: Autores

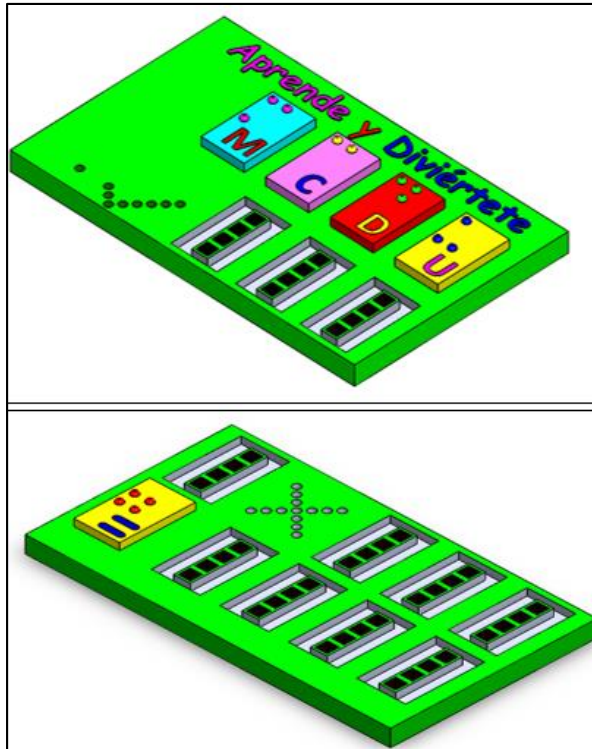


Figura 2. 7 Segmentación de la impresión del case en la impresora 3D Cubex.  
**Fuente:** Autores.

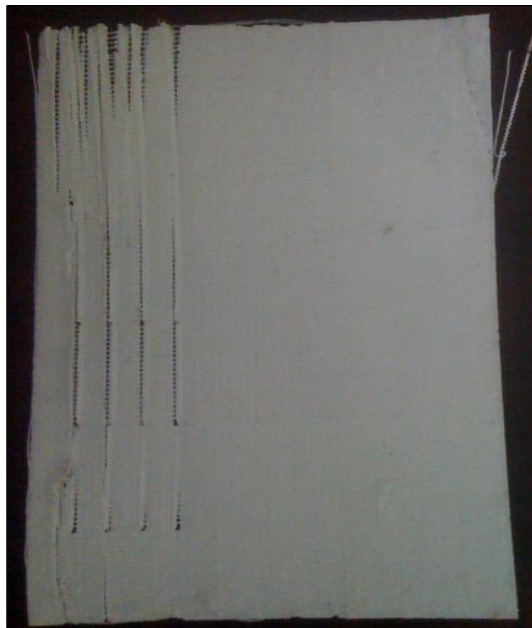


Figura 2. 8 Defectos en la impresión de la tapa del case relacionadas con temperatura en la impresora 3D Cubex  
**Fuente:** Autores



Figura 2. 9 Deformación de la impresión en la impresora 3D Cubex causada por la falta de adherencia a la placa de impresión

**Fuente:** Autores

Para un tercer prototipo se decidió emplear acrílico (ver Figura 2.10), utilizando la geometría mostrada en la Tabla 2.6. El prototipo construido presentó algunas dificultades menores para la inserción del bloque de identificación, generalmente debidas a la poca experiencia en el uso de herramientas por parte del equipo de trabajo. La inversión en este prototipo fue de USD 130, tal como lo muestra la Tabla 2.7.

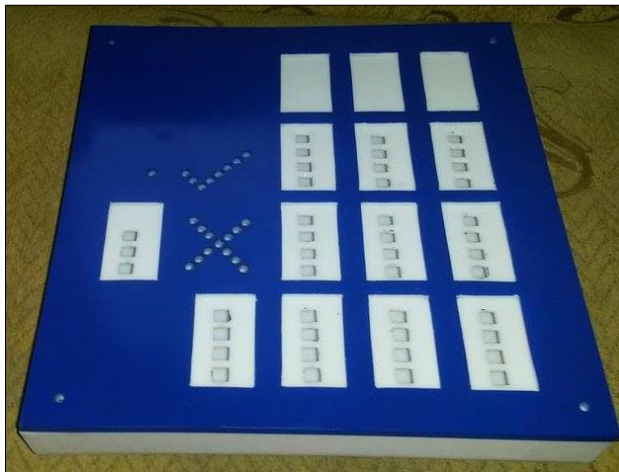


Figura 2. 10 Panel construido manualmente en acrílico.

**Fuente:** Autores

Tabla 2. 6 Geometría del case construido manualmente en acrílico

Parámetro	Longitud, mm
Ancho	275.00
Largo	275.00
Diámetro del orificio para señal luminosa	5.00
Ancho del orificio para las fichas	32.00
Largo del orificio para las fichas	52.80
Profundidad	45.00
Espesor	3.00

Fuente: Autores

Tabla 2. 7 Costo de la construcción manual del case en acrílico

Cantidad	Descripción	VU, USD	VT, USD
2	Láminas de acrílico	30.00	60.00
1	Pintura	15.00	15.00
1	Kit de herramientas	30.00	30.00
1	Gastos varios	25.00	25.00
<b>Total</b>			<b>130.00</b>

Fuente: Autores

En un cuarto prototipo se decidió utilizar el aplicativo Adobe Illustrator [14], que permite realizar diseños 2D y 3D, y exportables a materiales tales como acrílico, madera, vidrio, cerámica, etc. Una vez realizado el diseño (ver Figura 2.11), la construcción del prototipo se realizó en una máquina grabadora cortadora láser obteniéndose el resultado que se muestra en la Figura 2.12. La inversión en este prototipo fue de USD 90, tal como lo muestra la Tabla 2.8.

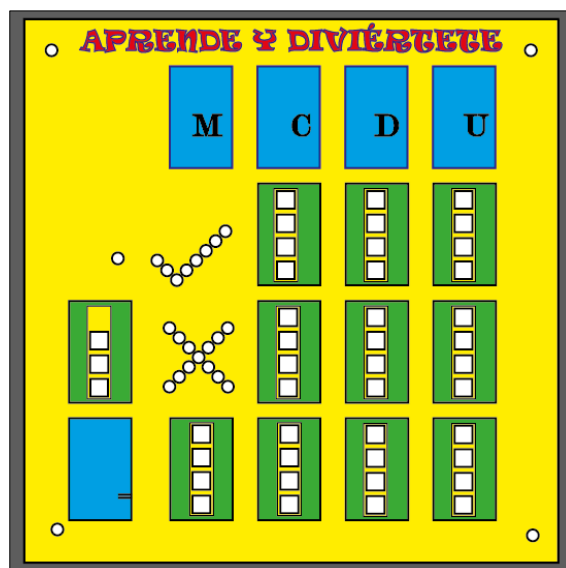


Figura 2. 11Diseño de la tapa del case utilizando el aplicativo Adobe Illustrator.

Fuente: Autores.

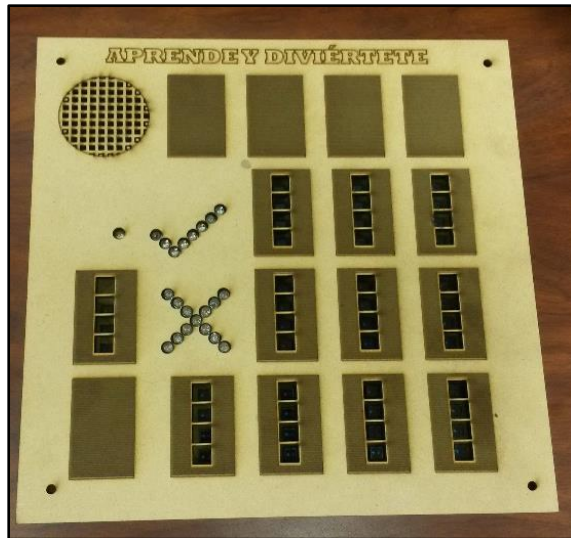


Figura 2. 12 Fabricación del case en madera, utilizando una máquina cortadora - grabadora láser.

Fuente: Autores

Tabla 2. 8 Costo de la construcción del case en madera utilizando una máquina cortadora – grabadora láser.

Cantidad	Descripción	VU, USD	VT, USD
2	Láminas de madera	20.00	40.00
1	Grabado y corte láser	25.00	25.00
1	Herramientas	10.00	10.00
1	Gastos varios	15.00	15.00
<b>Total</b>			<b>90.00</b>

Fuente: Autores

### 2.3 Determinación de criterios para la elección de una alternativa

Considerando los requerimientos básicos de diseño, se decidió fijar como criterios para la selección de la alternativa óptima, a la facilidad de elaboración del producto (FE), a la durabilidad del producto final (DP), a la estética del producto (EP), y al costo de elaboración (CE).

### 2.4 Evaluación de alternativa

Para seleccionar la alternativa óptima, se sometió a cada uno de los prototipos a la evaluación de correspondencia con los criterios establecidos, asignando una ponderación simple de 1 o 0 según el cumplimiento o no con el criterio. El prototipo a seleccionar sería el que obtuviera la mayor puntuación en todos los criterios

## 2.5 Elección de la alternativa

Tal como lo muestra la Tabla 2.9, el cuarto prototipo fue el seleccionado.

Tabla 2.9 Evaluación de alternativas y selección del prototipo óptimo

Prototipo	Criterios				Total
	EP	FE	DP	CE	
Uno	0	0	1	0	1
Dos	0	0	1	0	1
Tres	1	0	1	1	3
Cuatro	1	1	1	1	4

Fuente: Autores

## 2.6 Desarrollo de la alternativa seleccionada

Una vez seleccionada la alternativa óptima, se decidió escalar el prototipo al nivel de producto mínimo viable (PMV), cuya geometría de 270 mm de ancho y de 278 mm de largo se muestra en las Figura 2.13 a la 2.16, y en la Tabla 2.10.

El PMV se construyó utilizando una cortadora - grabadora láser disponible en laboratorio FAB LAB, perteneciente al Departamento de Arquitectura y Artes de la UTPL. El PMV ensamblado se muestra en la Figura 2.17.

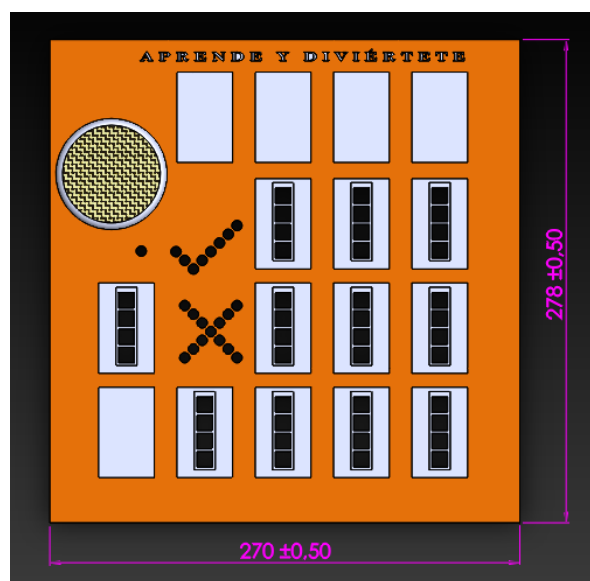


Figura 2.13 Geometría del case a implementar como PMV.

Fuente: Autores

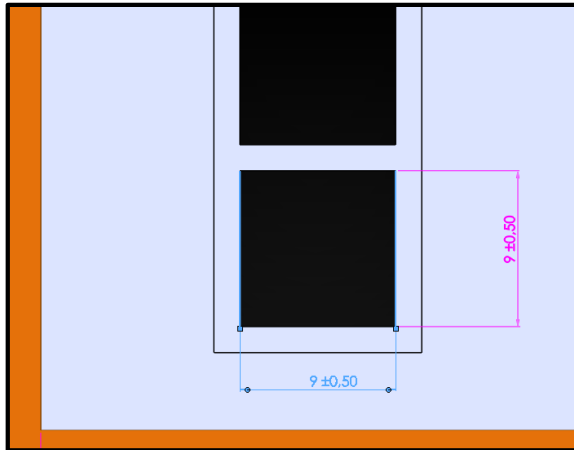


Figura 2. 14 Geometría del orificio para acoplamiento de sensores.  
**Fuente:** Autores

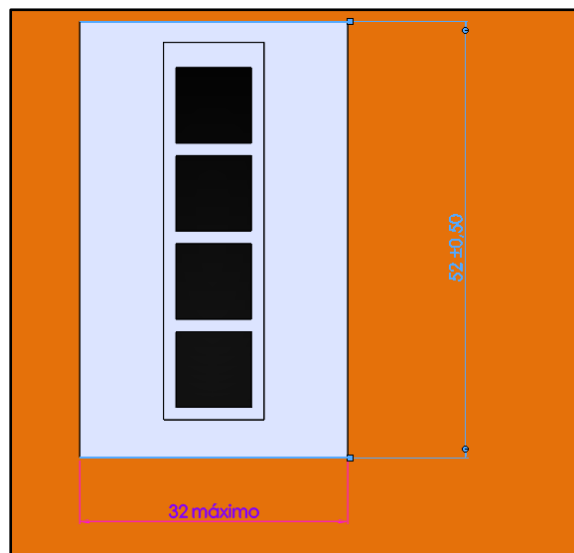


Figura 2. 15 Geometría del orificio para acoplamiento de fichas LEGO.  
**Fuente:** Autores.

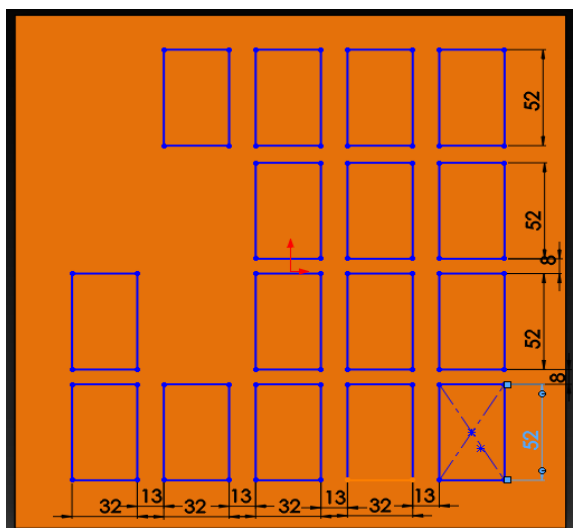


Figura 2. 16 Geometría del panel.  
Fuente: Autores.

Tabla 2. 10 Geometría del case construido.

Parámetro	Longitud, mm
Ancho	274.00
Largo	278.00
Diámetro del orificio para señal luminosa	6.00
Ancho del orificio para las fichas	32.00
Largo del orificio para las fichas	52.80
Profundidad	45.00
Espesor	6.00
Ancho del orificio para acoplamiento de sensores	9.00
Largo del orificio para acoplamiento de sensores	9.00

Fuente: Autores



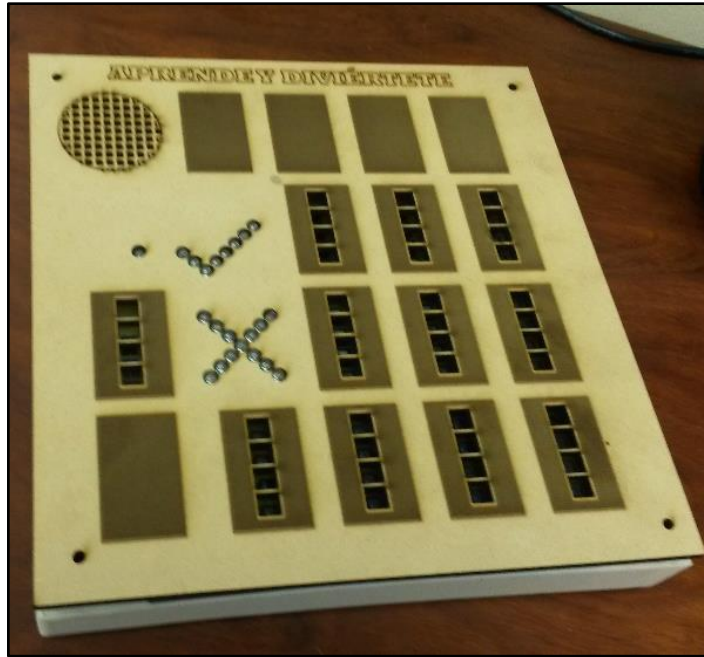


Figura 2. 17 PMV ensamblado.  
Fuente: Autores

## 2.7 Evaluación de resultados

Debido a limitaciones en cuanto a recursos y a tiempo, se decidió que esta etapa se posponga para un trabajo futuro.

## **CONCLUSIONES**

- Se analizó 6 opciones de optimización del panel electrónico implementado, identificando como óptima a la que propone la adopción de fichas tipo LEGO, considerando sus ventajas y desventajas, pero sobre todo la ampliación de las potencialidades de enseñanza de matemáticas.
- Se ha demostrado la factibilidad de desarrollar e implementar un case a nivel de PMV utilizando la metodología de diseño propuesta por Gerardo Rodríguez, empleando aplicativos y recursos disponibles localmente.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] <<Diseño del Material Didáctico Matemático y Discapacidad Visual en niños de Educación Básica >> [en línea]. Disponible en <http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/arte2013/utpl-diseno-material-didactico-matematico.pdf>
- [2] Bermeo. Figueroa. Lima. Ochoa. Peña. Romero. Jaramillo, «Análisis de opciones de optimización de un panel electrónico diseñado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales,» Loja, 2014.
- [3] Bermeo. Figueroa. Lima. Ochoa. Peña. Romero. Jaramillo, «Diseño de un panel electrónico para la enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidad visual especial, basado en la utilización de fichas tipo LEGO,» Loja, 2014.
- [4] “Los niños ciegos y su educación”, [en línea]. Consultado 2014-03-11 URL: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lda/arteaga\\_j\\_g/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lda/arteaga_j_g/capitulo2.pdf)
- [5] FERNÁNDEZ DEL CAMPO, José Enrique. “Braille y Matemática” [en línea]. Consultado 2014-03-04. URL: [http://sid.usal.es/idocs/f8/fdo10191/braille\\_y\\_matematica.pdf](http://sid.usal.es/idocs/f8/fdo10191/braille_y_matematica.pdf)
- [6] “Dimensiones de LEGO” [en línea]. Consultado 2014-03-15 URL: <http://www.robertcailliau.eu/Lego/Dimensions/zMeasurements-en.xhtml>
- [7] “Educación con LEGO” [en línea]. Consultado 2014-03-15. URL: <http://education.lego.com/en-us/lego-education-product-database/preschool/9027-lego-duplo-brick-set>
- [8] Software de diseño CAD en 3D, SOLIDWORKS, sitio web, [en línea], consultado 2014-03-11. URL: <http://www.solidworks.com/>
- [9] Makerbot Replicator 2 Desktop 3D Printer, sitio web, [en línea], consultado 2014-04-23. URL: <http://store.makerbot.com/replicator2x>
- [10] “El material de impresión ABS y sus características”, artículo, [en línea], consultado 2014-08-25. URL: <http://www.impresoras3d.com/el-material-de-impresion-abs-y-sus-caracteristicas/>
- [11] Gerardo Rodríguez, <<Manual de Diseño Industrial 3ª. Edición, >> México. Litoarte, S.A. de C.V.
- [12] Diseño del Bloque de Identificación Electrónica de Fichas Tipo LEGO en un Panel Concebido para la Enseñanza de Operaciones Matemáticas Básicas a Niños con Capacidades Visuales Diferentes [en línea]. Disponible en <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/12110/1/Jaramillo%20Valdivieso%20Jos%C3%A9%20Vicente.pdf>

- [13] 3D Printing <<Cube>> [En línea]. Disponible en: <http://cubify.com/cube/techspecs> [Último acceso 24 Septiembre 2015]
- [14] ADOBE ILLUSTRATOR, <<Software de diseño>> [En línea]. Disponible en: <http://www.adobe.com/la/products/illustrator.html> [último acceso 24 Septiembre 2015]

## **ANEXOS**

# Diseño del case de un panel para la enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidad visual especial, basado en la utilización de fichas tipo LEGO

Jonathan Romero<sup>#1</sup>, José Luis Mena<sup>#1</sup>, Jorge Luis Jaramillo<sup>#2</sup>

<sup>#1</sup> Profesional en formación de la Titulación de IET, Universidad Técnica Particular de Loja

<sup>#2</sup> Docente de la SET del DCCE, Universidad Técnica Particular de Loja

Loja, Ecuador

2015

<sup>1</sup>jaromero3@utpl.edu.ec, <sup>1</sup>jlmena@utpl.edu.ec, <sup>2</sup>jorgeluis@utpl.edu.ec

**Resumen**— En este documento se describe los resultados obtenidos en la fase de diseño e implementación del case de un panel electrónico para la enseñanza de matemáticas básicas a niños con capacidad visual especial, basado en la utilización de fichas tipo LEGO.

**Palabras claves**—enseñanza de matemáticas, enseñanza de matemáticas a niños con capacidad visual especial, paneles electrónico, LEGO.

## I. INTRODUCCIÓN

En septiembre de 2013, personal de la Sección de Electrónica y Telecomunicaciones del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, y de la Sección de Diseño, Proyectos Arquitectónicos y Urbanismo del Departamento de Arquitectura y Artes, de la Universidad Técnica Particular de Loja, decidieron colaborar en el diseño e implementación de un panel electrónico para la enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. Como resultado, se desarrolló el panel electrónico que se muestra en la Fig.1, y que se describe en [1].

La evaluación de desempeño del panel desarrollado mostró que se cumplía con las especificaciones funcionales, pero se presentaban problemas operativos, especialmente en relación a la manipulación de las fichas. En este contexto, en marzo 2014 se acordó optimizar el panel, obteniendo los resultados descritos en trabajos previos [2], [3].

Luego, dando continuidad a la programación del proyecto, se inició la fase de diseño del case del panel, bajo las premisas de superar los problemas identificados en la versión original del proyecto [1], y observar criterios de durabilidad, estética y maniobrabilidad. En este documento se recoge los resultados obtenidos en esta fase.

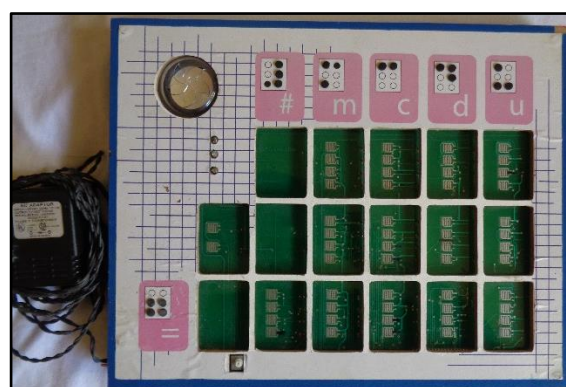


Fig. 1. Versión original del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales [1].

## II. SOBRE LA OPTIMIZACIÓN DEL PANEL ORIGINAL

### A. Sobre la necesidad de optimizar el diseño original

Debido a los problemas presentados en el panel implementado se identificaron necesidades de optimización: disminución del volumen y peso de las fichas, integración de identificadores decimales y código Braille, reducción del desgaste de contactos en el circuito impreso, y diversificación en el uso de colores [1].

Conocidas las necesidades de optimización, se formularon 6 diferentes propuestas tecnológicas. En la **primera opción** se propuso conservar las características de funcionamiento del panel original e incorporar un switch de encendido y apagado. El usuario ingresa los operandos presionando los pulsadores ubicados en el tablero, tal como se muestra en la Fig.2. Luego, selecciona el operador matemático, e indica la respuesta expresada en unidades, decenas y centenas. Al oprimir el operador “igual” y la tecla “comprobar”, se escucha el mensaje “correcto” para una operación válida, o “incorrecto” para una operación errónea. El usuario puede resetear los pulsadores, para ejecutar la operación nuevamente.

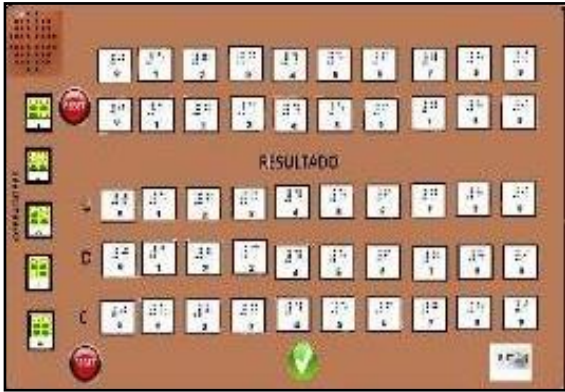


Fig. 2. Primera opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. [Autores].

En la **segunda opción**, se pretende llamar la atención de los niños para facilitar el aprendizaje, por lo que se utiliza un panel electrónico integrado a un oso de peluche. El panel opera de forma similar a lo descrito en el apartado anterior (ver Fig.3).



Fig. 3. Segunda opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. [Autores].

En la **tercera opción** se presenta un paradigma diferente al panel original, en el que dos jugadores participan identificándose cada uno de ellos con el color verde o azul respectivamente. Se utiliza un tablero con pulsadores (que contienen números entre uno y veinte), y tres dados (dos para los operandos y uno para las operaciones). El tablero y los dados están identificados con código braille. El jugador lanza los dados. El procedimiento y el resultado se ingresa en el tablero, y, se verifica la correcta ejecución (ver Fig.4).



Fig.4. Tercera opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. [Autores].

En la **cuarta opción**, para iniciar se presiona el botón “inicio”, y el panel da a conocer, mediante audio, un número aleatorio. El usuario identifica dos operandos y una operación, que se ingresan al panel presionando los pulsadores del tablero. Si los operandos y la operación ingresada son correctos, se escuchará “correcto”, caso contrario se indicará “incorrecto”, y se generará un nuevo número aleatorio (ver Fig. 5).



Fig. 5. Cuarta opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. [Autores].

La **quinta opción** se basa en el funcionamiento del juego “sudoku”, adaptándolo con numeración Braille (ver Fig. 6). Este juego utiliza una tabla de 9x9, compuesta por bloques denominados también subtablas de 3x3. Algunas celdas contienen números dados. El juego tiene por objetivo completar las celdas vacías, de forma tal que cada columna, fila, y región contenga números del 1 al 9 una sola vez. El tablero contendrá los botones “empezar” y “evaluar”. La rutina de comprobación terminará con un mensaje de “correcto” o “incorrecto”.

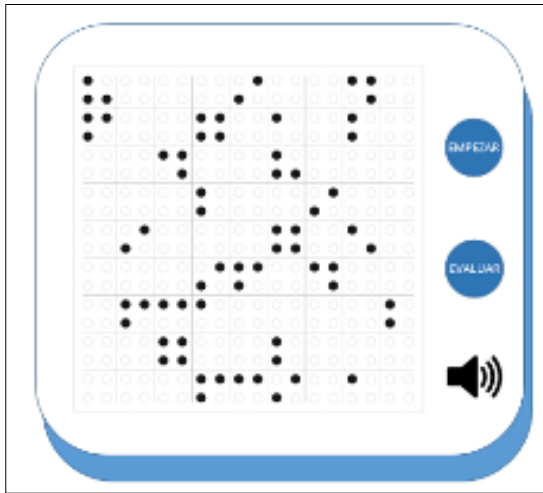


Fig. 6. Quinta opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. [Autores].

En la *sexta opción* se adapta fichas tipo LEGO al panel electrónico, con lo que se pretende reducir el desgaste prematuro de los contactos en los circuitos impresos. Se utiliza un tablero y diversas fichas (números y operaciones matemáticas). Las fichas se colocan en el tablero en la lógica: primer operando, segundo operando, operación, solución, y, comprobación (ver Fig. 7).

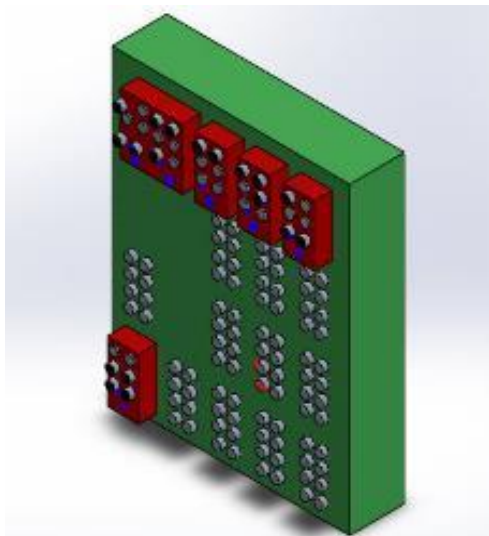


Fig. 7. Sexta opción de optimización del panel electrónico implementado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales. [Autores].

Las opciones señaladas se analizaron identificando potenciales inconvenientes de orden mecánico, y limitaciones en el número de cifras significativas de operandos y resultados. La Tabla 1 muestra las ventajas y desventajas de cada una de las opciones. Como resultado se seleccionó la sexta opción, considerando sobre todo la ampliación de las potencialidades en la enseñanza de las matemáticas que esta brinda.

Tabla 1.

Análisis comparativo de las opciones presentadas. Autores

Opción	Ventajas	Desventajas
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elementos no móviles</li> <li>Se puede verificar que pulsadores están activados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se puede activar 2 pulsadores simultáneamente</li> <li>Desgaste prematuro</li> <li>Sistema mecánico complejo</li> <li>Gran tamaño</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elementos no móviles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste prematuro</li> <li>Sistema mecánico complejo</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste limitado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación compleja</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste limitado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación compleja</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste limitado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema complejo</li> <li>Operación compleja</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste limitado</li> <li>Manipulación intuitiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación compleja</li> </ul>

B. *Requerimientos generales para el diseño del nuevo panel*

En el grupo beneficiario de este proyecto, existen menores con ceguera parcial por lo que se consideró incluir en el diseño colores vivos. Además, se decidió incluir elementos estimulantes al tacto (codificación Braille) y al oído (sonidos “respuesta correcta” y “respuesta incorrecta”) [4], [5].

Al igual que en la versión original, el panel permitirá ejecutar las cuatro operaciones básicas (suma, resta, multiplicación y división). El panel constará de un tablero con una disposición de 5 columnas y 4 filas, y de una sección de encendido y sonorización, (ver Fig. 8).

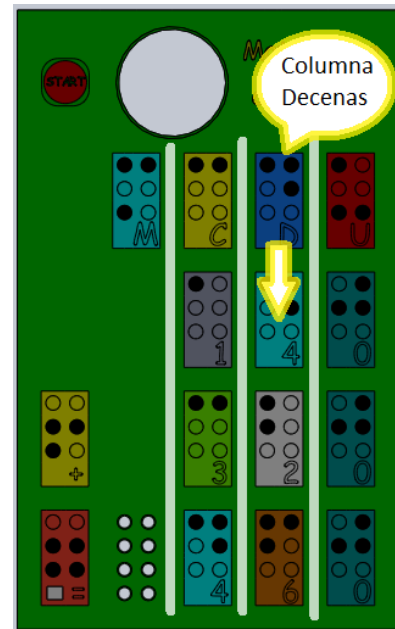


Fig. 8. Tablero del panel electrónico optimizado. [Autores]

Desde la derecha, las columnas del tablero permitirán ubicar las fichas correspondientes a unidades, decenas, centena, y, miles. En la primera fila, en cada columna, permanecerán fijas las fichas que señalan el valor posicional de la columna.

En la última columna, a la izquierda del tablero, se ubicarán las fichas correspondientes a la operación aritmética a realizar (tercera fila desde arriba del tablero).



En la posición quinta columna y cuarta fila, permanecerá fija la ficha de resultado de operación, construida sobre un pulsador.

En la sección de encendido y sonorización, ubicada en la parte superior del tablero, se encontrará el botón de inicio (START) y un parlante, que servirá para comunicar lo acertado o no de la operación efectuada.

Las fichas correspondientes a los operandos y al resultado, podrán ocupar exclusivamente posiciones predeterminadas en el tablero. La Fig.9 muestra el diseño del tablero, que corresponde al estándar de una pieza tipo LEGO.

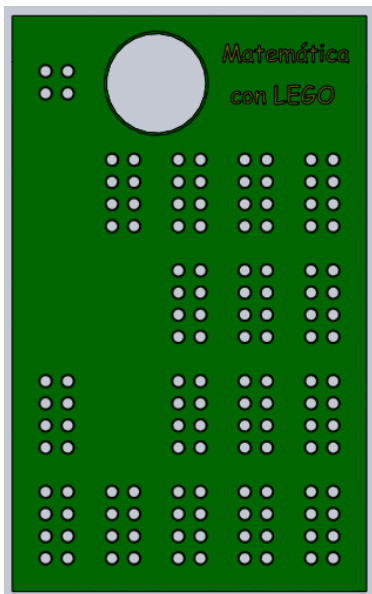


Fig. 9. Vista superior y lateral izquierda del tablero. [Autores]

En cada ficha de los operandos, se imprimirá el valor absoluto de la misma (de 0 a 9), en Braille (en la parte superior de la ficha) y en números arábigos (en la parte inferior de la ficha), tal como lo muestra la Fig.10.

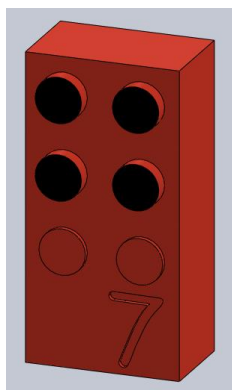


Fig. 10. Vista general de una ficha del tablero. [Autores]

La geometría de cada una de las fichas corresponde al estándar de una pieza LEGO (ver Fig. 11 a la 13).

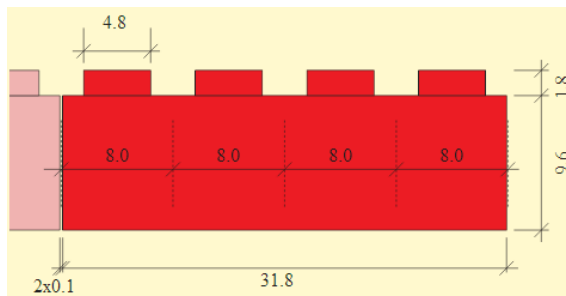


Fig. 11. Vista lateral derecha de una pieza LEGO 4 x 2, [6]

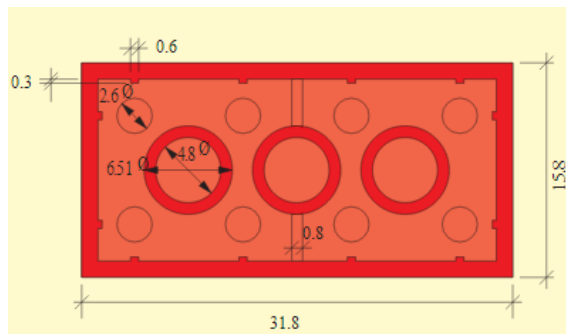


Fig. 12. Vista inferior de una pieza de LEGO 4 x 2, [6]

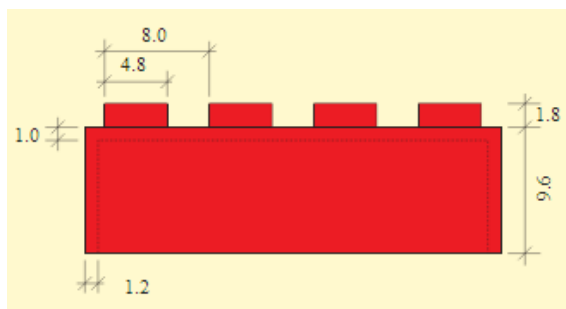


Fig. 13. Vista lateral izquierda de una pieza de LEGO 4 x 2, [6]

Adicionalmente, se diseñó fichas para las operaciones matemáticas básicas, y, para el reconocimiento de las posiciones. La Fig.14 muestra el ensamblaje de las fichas sobre el tablero.

En otro contexto, al beneficio que brinda las fichas tipo LEGO (múltiples combinaciones y las distintas estructuras que se logran crear con un grupo básico de piezas), se suma el desarrollo de habilidades motrices y la adquisición de conceptos espaciales, como volumen, tamaño y formas geométricas [7]. Los infantes se sienten atraídos por la idea de aprender divirtiéndose, condición totalmente válida para niños con capacidad visual especial, esta opción se propone adaptar fichas tipo lego en el panel electrónico. Al utilizar las fichas tipo lego se pretende reducir el desgaste prematuro de los contactos en los circuitos impresos en el bloque de control, de tal forma que el panel tenga durabilidad.

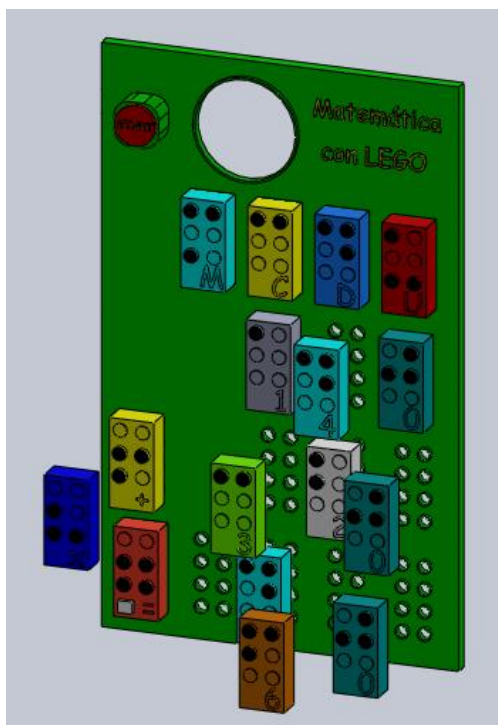


Fig. 14. Vista general del tablero y de las fichas. [Autores]

### C. Diseño a detalle de las fichas a utilizar en el panel

Considerando el grado de desarrollo de la capacidad táctil en el grupo beneficiario del proyecto, y, los requerimientos de estética planteados por el equipo de trabajo, se decidió plantear al menos 4 posibles diseños de fichas, de entre las cuales se escogería la opción óptima.

Debido a la disponibilidad de software y equipos, se decidió imprimir las fichas en 3D, utilizando los recursos del aplicativo Solidworks [8], y, de la impresora 3D tipo Makerbot Replicator 2X [9].

Para seleccionar la opción óptima del diseño de las fichas a utilizar en el panel, se decidió someter las impresiones al análisis del grupo beneficiario del proyecto. Se trabajó con los niños del cuarto año de educación básica del "Instituto para Ciegos Byron Eguiguren". Este grupo está conformado por 6 menores, de los cuales 3 tienen capacidad visual especial. A cada uno de los niños se le pidió manipular las diferentes fichas impresas, recogiendo sus impresiones. Adicionalmente, se solicitó una apreciación a la tutora del grupo, una docente con 15 años de experiencia en el Instituto. Como resultado se pudo inferir que la opción óptima está representada en una ficha con los cilindros significativos para la codificación Braille con perfil redondeado, y, con el número arábigo impreso en bajo relieve (ver Fig.15).

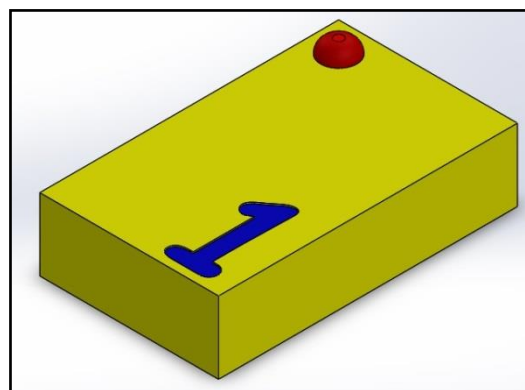


Fig. 15. Vista de planta de ficha seleccionada. [Autores].

### D. Programación de la ingeniería de detalle del panel

Establecida la conceptualización y el diseño de fichas tipo LEGO del panel, se decidió proseguir con el diseño e implementación de un prototipo del panel electrónico. Para este fin, en septiembre de 2014 se conformaron cuatro grupos de trabajo, encargándoles el diseño e implementación del panel, el diseño e implementación del bloque de identificación electrónica de fichas, el diseño e implementación del algoritmo de control del panel, y, el análisis de resultados.

## III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CASE

Como metodología de abordaje para el diseño e implementación, el equipo de trabajo decidió adaptar el abordaje propuesto por Gerardo Rodríguez [11], conformado por 7 etapas y resumido en la Fig. 16.

### A. Definición del problema a resolver

Con la intención de superar problemas existentes en un prototipo anterior, se decidió utilizar el concepto de fichas tipo LEGO para esta nueva versión. En esta etapa del proyecto, se requiere diseñar un case resistente, compacto y maniobrable, sin descuidar los aspectos estéticos.

El case proporcionará operatividad a las fichas tipo LEGO, y facilitará la interacción entre las fichas y los componentes del bloque de identificación electrónica [12], sus características se muestran en la Tabla 4.

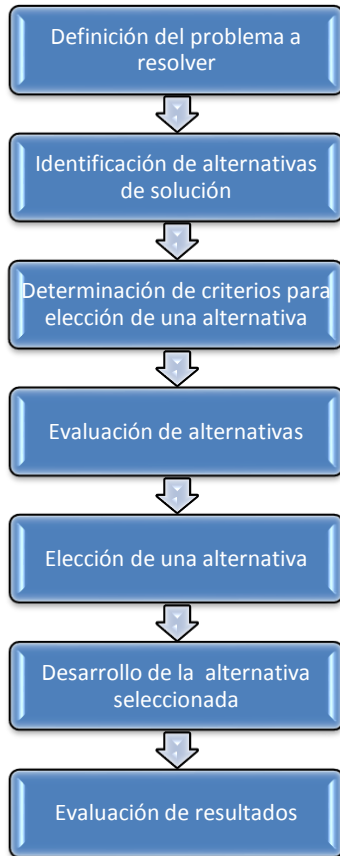


Fig. 16. Metodología de diseño e implementación del case [11].

Tabla 4.

Geometría del bloque de identificación electrónica. Autores

Item	Descripción	Ancho x largo, mm
1	Circuito de operación y señales luminosas	235 x 175
2	Circuito de alimentación y señales de audio	34 x 50
3	Bloque de control	80 x 80
4	Parlante	76 diámetro
5	Iluminación LED	Incluido en el circuito de operación y señales luminosas
6	Switch, Jack	20 x 20

### B. Identificación de alternativas de solución

Para el diseño se utilizó el aplicativo SolidWorks [8], con cuya ayuda se modeló un case conformado por una caja (ver Fig.17 y Tabla 5) y una tapa (ver Fig.18 y Tabla 6). La caja contiene los componentes electrónicos y facilita colocar un interruptor de encendido y un conector de alimentación. El diseño de la tapa facilita el acoplamiento de los sensores del bloque de identificación electrónico, la inserción de los circuitos para señalización luminosa, y la inclusión del dinámico para salida de audio.

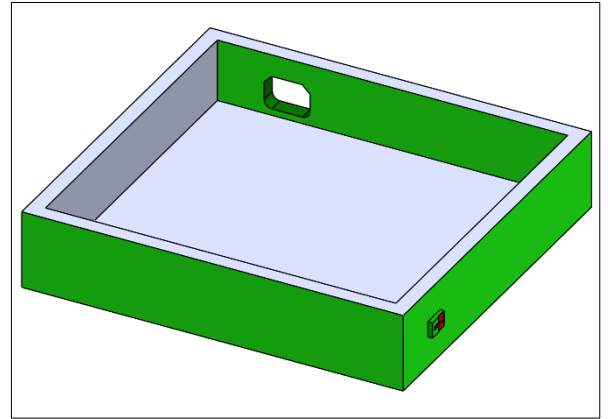


Fig. 17. Vista general de la caja propuesta para el case. [Autores].

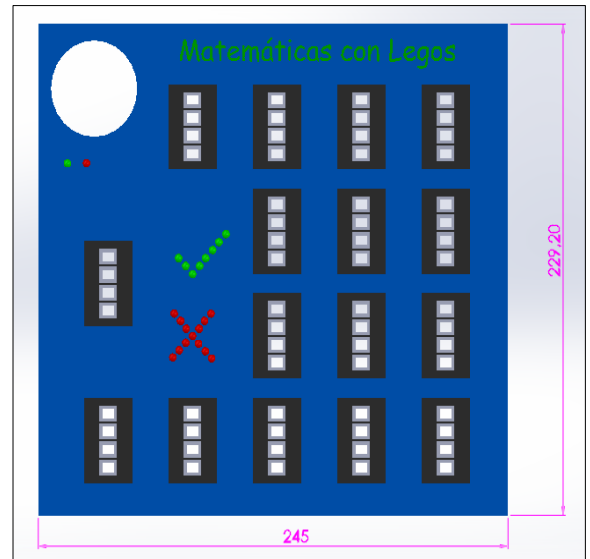


Fig. 18. Vista general de la tapa propuesta para el case. [Autores].

Tabla 5

Geometría de la caja para el case diseñado. Autores

Parámetro	Longitud, mm)
Ancho	245.00
Largo	229.20
Profundidad	50.00
Espesor	10.00

Tabla 6

Geometría de la tapa para el case diseñado. Autores

Parámetro	Longitud, mm
Ancho	245.00
Largo	229.20
Diámetro del orificio del parlante	45.00
Ancho del orificio para las fichas	25.00
Largo del orificio para las fichas	39.80

Para construir un **primer prototipo**, la caja y la tapa del case se imprimieron en un equipo 3D Makerbot Replicator 2X [9], disponible en el Laboratorio de Prototipos de la Sección de Electrónica y Telecomunicaciones del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica. Debido a limitaciones en las dimensiones de la placa de impresión, se dividió la impresión en 4 segmentos tal como lo muestra la Fig. 19. Las Fig. 20 y 21 muestran que los resultados obtenidos no

fueron satisfactorios debido a problemas en el sistema mecánico y de regulación de temperatura de la impresora. Esta impresora utiliza plástico ABS genérico [10] para la impresión.

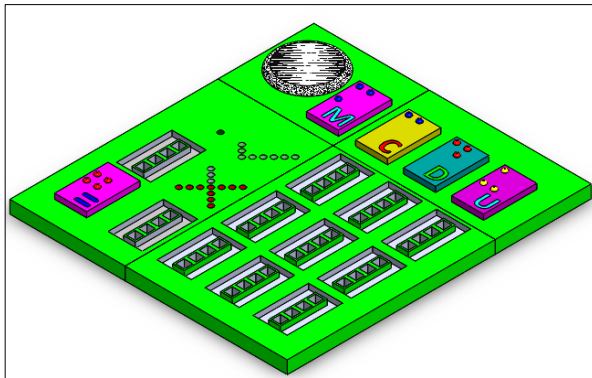


Fig. 19. Segmentación de la impresión del case en el equipo 3D Makerbot Replicator 2X. [Autores].

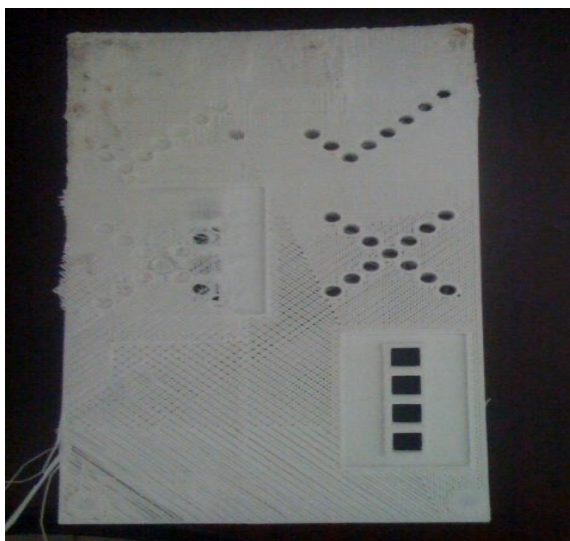


Fig. 20. Defectos en la impresión de la tapa del case relacionadas con problemas mecánicos en la impresora 3D Makerbot Replicator 2X. [Fotografía de los autores]



Fig. 21. Deformación de la impresión causada por problemas en la regulación térmica de la impresora 3D Makerbot Replicator 2X [Fotografía de los autores]

control de temperatura de la impresora y a la falta de adherencia con la placa de impresión (ver Fig.23 y 24). Esta impresora utiliza plástico ABS provisto exclusivamente por el fabricante del equipo. La Tabla 8 detalla la inversión realizada por el equipo de trabajo en las impresiones 3D fallidas del prototipo uno y dos.

**Tabla 7.**  
Geometría del segmento de la tapa para el case diseñado. Autores

Parámetro	Longitud, mm
Ancho	240.00
Largo	149.00
Diámetro del orificio del parlante	5.00
Ancho del orificio para las fichas	32.00
Largo del orificio para las fichas	52.00

**Tabla 8.**  
Inversión en la impresión 3D de los prototipos uno y dos del case diseñado. Autores

Cantidad	Descripción	VU, USD	VT, SD
2	ABS[8]	120.00	240.00
1	Resina, pegamento en barra	35.00	35.00
<b>Total</b>			<b>275.00</b>

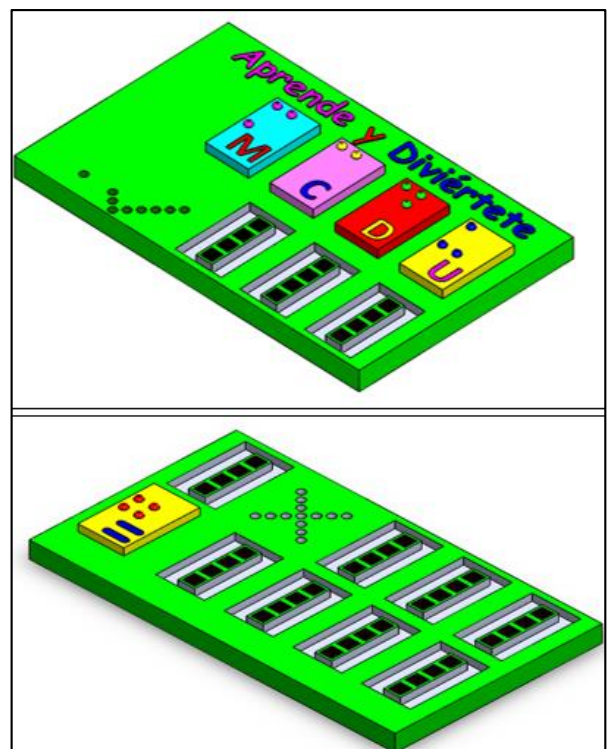


Fig. 22. Segmentación de la impresión del case en la impresora 3D Cubex. [Autores]

Se decidió entonces construir un *segundo prototipo* empleando una impresora existente en el Laboratorio de Ciencias de los Datos, correspondiente al modelo 3D Cubex [13]. La geometría del case se adaptó a la nueva impresora, tal como lo muestra la Tabla 7. La Fig. 22 muestra la segmentación de la impresión. Los resultados de impresión tampoco fueron satisfactorios debido a problemas en el

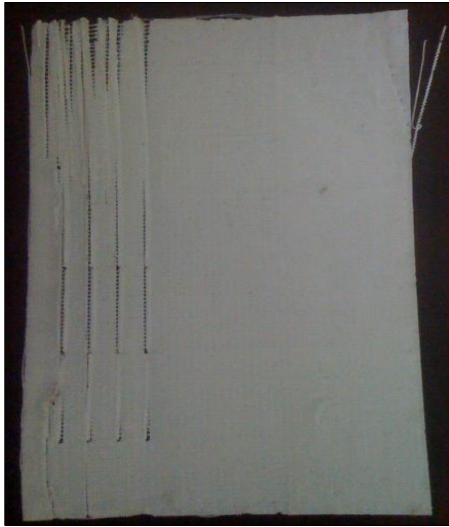


Fig. 23. Defectos en la impresión de la tapa del case relacionados con temperatura en la impresora 3D Cubex [Fotografía de los autores]



Fig. 24. Deformación de la impresión en la impresora 3D Cubex causada por la falta de adherencia a la placa de impresión [Fotografía de los autores]

Para un *tercer prototipo* se decidió emplear acrílico (ver Fig.25), utilizando la geometría mostrada en la Tabla 9. El prototipo construido presentó algunas dificultades menores para la inserción del bloque de identificación, generalmente debidas a la poca experiencia en el uso de herramientas por parte del equipo de trabajo. La inversión en este prototipo fue de USD 130, tal como lo muestra la Tabla 10.

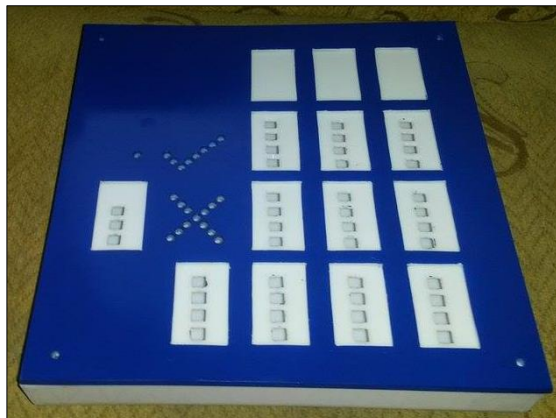


Fig. 25. Panel construido manualmente en acrílico. [Fotografía de los autores]

**Tabla 9.**  
Geometría del case construido manualmente en acrílico.  
Autores

Parámetro	Longitud, mm
Ancho	275.00
Largo	275.00
Diámetro del orificio para señal luminosa	5.00
Ancho del orificio para las fichas	32.00
Largo del orificio para las fichas	52.80
Profundidad	45.00
Espesor	3.00

**Tabla 10.**  
Costo de la construcción manual del case en acrílico.  
Autores

Cantidad	Descripción	VU, USD	VT, USD
2	Láminas de acrílico	30.00	60.00
1	Pintura	15.00	15.00
1	Kit de herramientas	30.00	30.00
1	Gastos varios	25.00	25.00
<b>Total</b>			<b>130.00</b>

En un *cuarto prototipo* se decidió utilizar el aplicativo Adobe Illustrator [14], que permite realizar diseños 2D y 3D, y exportables a materiales tales como acrílico, madera, vidrio, cerámica, etc. Una vez realizado el diseño (ver Fig.26), la construcción del prototipo se realizó en una máquina grabadora cortadora láser obteniéndose el resultado que se muestra en la Fig.27. La inversión en este prototipo fue de USD 90, tal como lo muestra la Tabla 11.

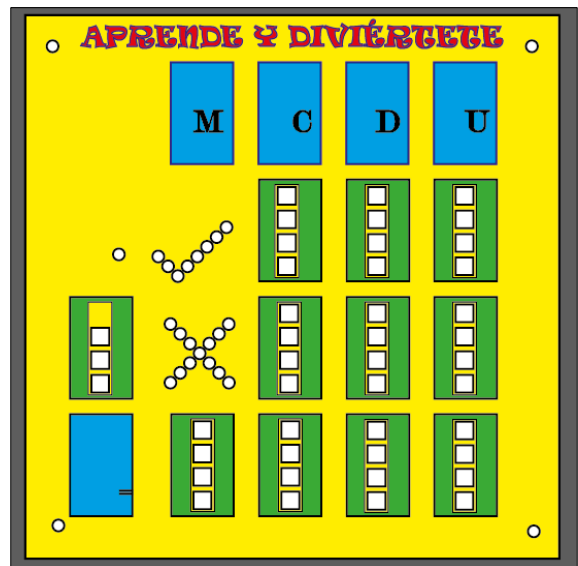


Fig. 26. Diseño de la tapa del case utilizando el aplicativo Adobe Illustrator. [Autores]

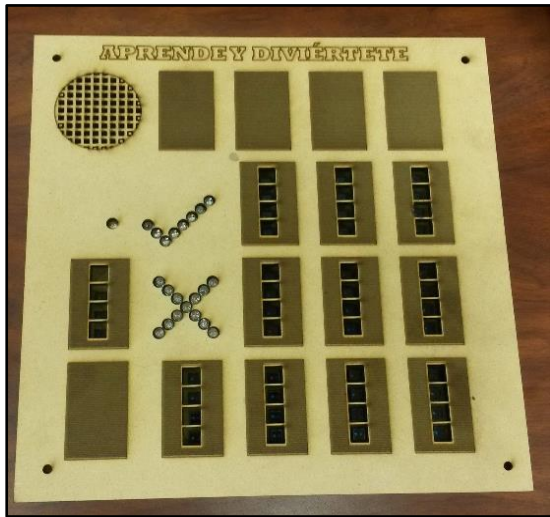


Fig. 27. Fabricación del case en madera, utilizando una máquina cortadora - grabadora láser. [Fotografía de los autores]

Tabla 11.

Costo de la construcción del case en madera utilizando una máquina cortadora – grabadora láser. Autores

Cantidad	Descripción	VU, USD	VT, USD
2	Láminas de madera	20.00	40.00
1	Grabado y corte láser	25.00	25.00
1	Herramientas	10.00	10.00
1	Gastos varios	15.00	15.00
<b>Total</b>			<b>90.00</b>

### C. Determinación de criterios para la elección de una alternativa

Considerando los requerimientos básicos de diseño, se decidió fijar como criterios para la selección de la alternativa óptima, a la facilidad de elaboración del producto (FE), a la durabilidad del producto final (DP), a la estética del producto (EP), y al costo de elaboración (CE).

### D. Evaluación de alternativas

Para seleccionar la alternativa óptima, se sometió a cada uno de los prototipos a la evaluación de correspondencia con los criterios establecidos, asignando una ponderación simple de 1 o 0 según el cumplimiento o no con el criterio. El prototipo a seleccionar sería el que obtuviera la mayor puntuación en todos los criterios

### E. Elección de la alternativa

Tal como lo muestra la Tabla 12, el cuarto prototipo fue el seleccionado.

Tabla 12.

Evaluación de alternativas y selección del prototipo óptimo. Diseño de los autores

Prototipo	Criterios				Total
	EP	FE	DP	CE	
Uno	0	0	1	0	1
Dos	0	0	1	0	1
Tres	1	0	1	1	3
Cuatro	1	1	1	1	4

### F. Desarrollo de la alternativa seleccionada

Una vez seleccionada la alternativa óptima, se decidió escalar el prototipo al nivel de producto mínimo viable (PMV), cuya geometría de 270 mm de ancho y de 278 mm de largo se muestra en las Fig. 28 a la 31, y en la Tabla 13.

El PMV se construyó utilizando una cortadora - grabadora láser disponible en laboratorio FAB LAB, perteneciente al Departamento de Arquitectura y Artes de la UTPL. El PMV ensamblado se muestra en la Fig. 32.

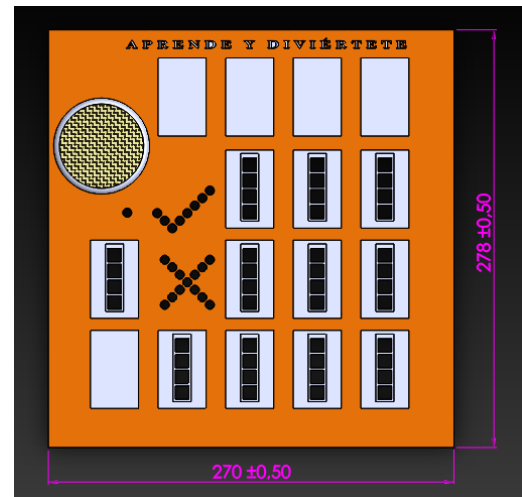


Fig. 28. Geometría del case a implementar como PMV. [Autores]

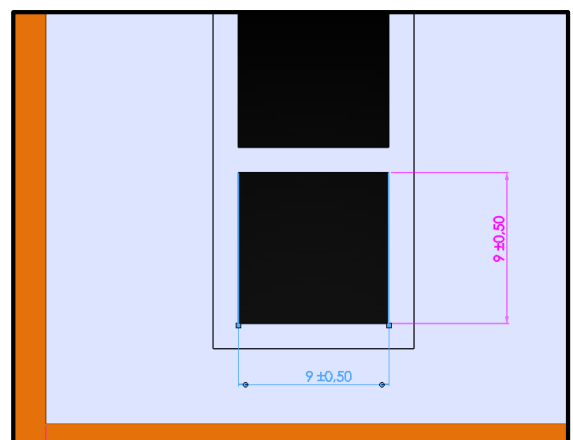


Fig. 29. Geometría del orificio para acoplamiento de sensores. [Autores]

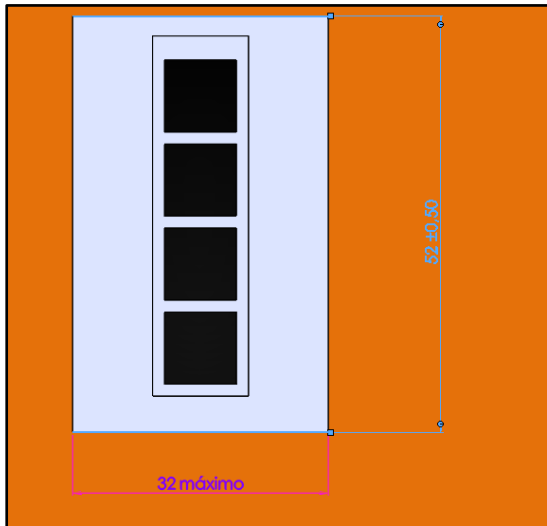


Fig. 30. Geometría del orificio para acoplamiento de fichas LEGO. [Autores].

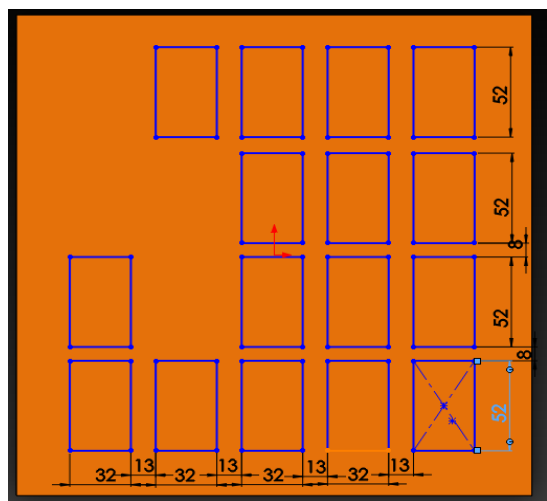


Fig. 31 Geometría del panel. [Autores].

Tabla 13.

Geometría del case construido. [Diseño de los autores]

Parámetro	Longitud, mm
Ancho	270.00
Largo	278.00
Diámetro del orificio para señal luminosa	6.00
Ancho del orificio para las fichas	32.00
Largo del orificio para las fichas	52.80
Profundidad	45.00
Espesor	6.00
Ancho del orificio para acoplamiento de sensores	9.00
Largo del orificio para acoplamiento de sensores	9.00

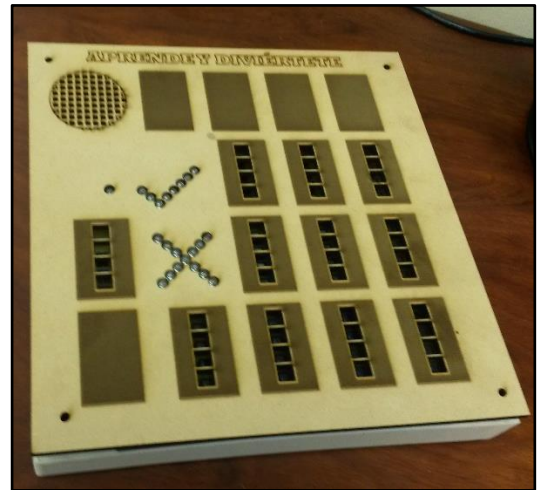


Fig. 32. PMV ensamblado. [Fotografía de los autores]

### G. Evaluación de resultados

Debido a limitaciones en cuanto a recursos y a tiempo, se decidió que esta etapa se posponga para un trabajo futuro.

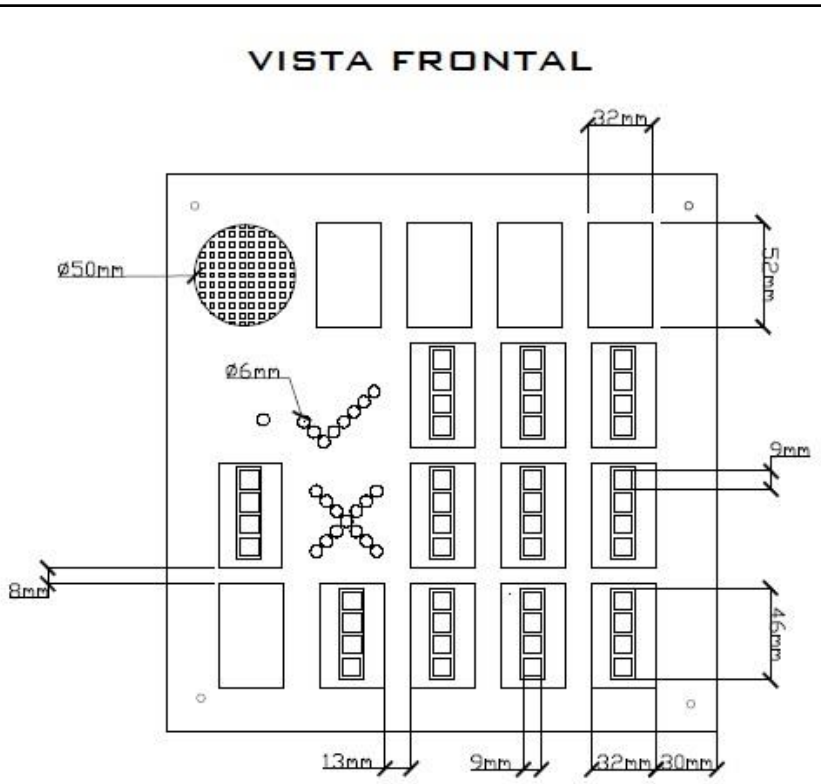
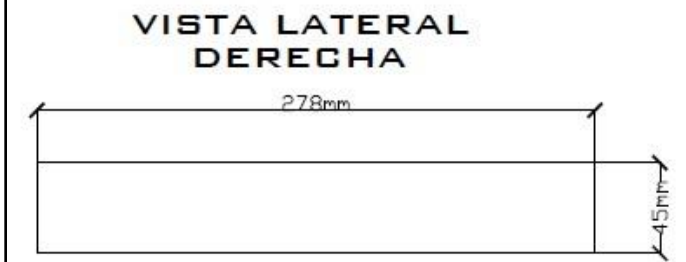
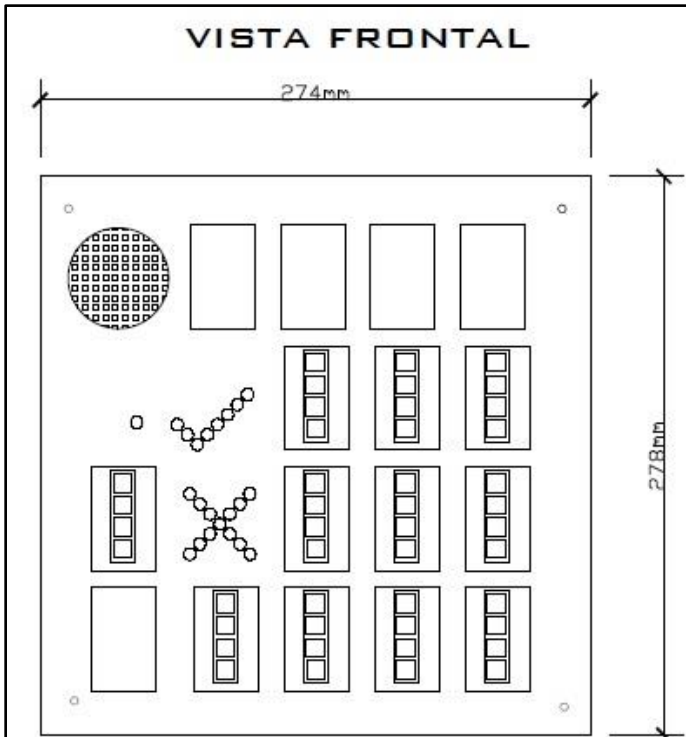
## IV. CONCLUSIONES

- Se analizó 6 opciones de optimización del panel electrónico implementado, identificando como óptima a la que propone la adopción de fichas tipo LEGO, considerando sus ventajas y desventajas, pero sobre todo la ampliación de las potencialidades de enseñanza de matemáticas.
- Considerando el grado de desarrollo de la capacidad táctil en el grupo beneficiario del proyecto, y, los requerimientos de estética planteados por el equipo de trabajo, se decidió plantear al menos 4 posibles diseños de fichas tipo LEGO a utilizar en el panel (operandos, operadores, y, referencias de posición), de entre las cuales se escogería la opción óptima.
- Se ha demostrado la factibilidad de desarrollar e implementar un case a nivel de PMV utilizando la metodología de diseño propuesta por Gerardo Rodríguez, empleando aplicativos y recursos disponibles localmente.

## V. REFERENCIAS

- [1] Diseño del Material Didáctico Matemático y Discapacidad Visual en niños de Educación Básica [en línea]. Disponible en <http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/arte2013/utpl-diseno-material-didactico-matematico.pdf>
- [2] Bermeo. Figueroa. Lima. Ochoa. Peña. Romero. Jaramillo, «Análisis de opciones de optimización de un panel electrónico diseñado para enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidades visuales especiales,» Loja, 2014.
- [3] Bermeo. Figueroa. Lima. Ochoa. Peña. Romero. Jaramillo, «Diseño de un panel electrónico para la enseñanza de operaciones matemáticas básicas a niños con capacidad visual especial, basado en la utilización de fichas tipo LEGO,» Loja, 2014.
- [4] “Los niños ciegos y su educación”, [en línea]. Consultado 2014-03-11 URL: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lda/artea\\_g\\_j\\_g/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lda/artea_g_j_g/capitulo2.pdf)
- [5] FERNÁNDEZ DEL CAMPO, José Enrique. “Braille y Matemática” [en línea]. Consultado 2014-03-04. URL: [http://sid.usal.es/idocs/f8/fdo10191/braille\\_y\\_matematica.pdf](http://sid.usal.es/idocs/f8/fdo10191/braille_y_matematica.pdf)
- [6] “Dimensiones de LEGO” [en línea]. Consultado 2014-03-15 URL: <http://www.robertcailliau.eu/Lego/Dimensions/zMeasurements-en.xhtml>
- [7] “Educación con LEGO” [en línea]. Consultado 2014-03-15. URL: <http://education.lego.com/en-us/lego-education-product-database/preschool/9027-lego-duplo-brick-set>
- [8] Software de diseño CAD en 3D, SOLIDWORKS, sitio web, [en línea], consultado 2014-03-11. URL: <http://www.solidworks.com/>
- [9] MakerBot Replicator 2 Desktop 3D Printer, sitio web, [en línea], consultado 2014-04-23. URL: <http://store.makerbot.com/replicator2x>
- [10] “El material de impresión ABS y sus características”, artículo, [en línea], consultado 2014-08-25. URL: <http://www.impresoras3d.com/el-material-de-impresion-abs-y-sus-caracteristicas/>
- [11] Gerardo Rodríguez, <<Manual de Diseño Industrial 3ª. Edición, >> México. Litoarte, S.A. de C.V.
- [12] Diseño del Bloque de Identificación Electrónica de Fichas Tipo LEGO en un Panel Concebido para la Enseñanza de Operaciones Matemáticas Básicas a Niños con Capacidades Visuales Diferentes [en línea]. Disponible en <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/12110/1/Jaramillo%20Valdivieso%20Jos%C3%A9%20Vicente.pdf>
- [13] 3D Printing <<Cube>> [En línea]. Disponible en: <http://cubify.com/cube/techspecs> [Último acceso 24 Septiembre 2015]
- [14] ADOBE ILLUSTRATOR, <<Software de diseño>> [En línea]. Disponible en: <http://www.adobe.com/la/products/illustrator.html> [último acceso 24 Septiembre 2015]





	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	TITULACIÓN: ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES	SECCIÓN: ELECTRÓNICA Y ENERGÍA	ESCALA: NINGUNA
	DESCRIPCIÓN: GEOMETRÍA DEL CASE DEL PANEL	AUTOR: MENA JOSÉ ROMERO JONATHAN	FECHA: DICIEMBRE 2015
	REVISADO POR: ING. JORGE LUIS JARAMILLO PACHECO	LÁMINA: <b>1</b>	