



DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

**DESARROLLO DE UNA AYUDA TÉCNICA PARA
ALUMNOS DEL COLEGIO SAN RAFAEL (I)**

EL CUBO DE ISMAEL

PROYECTO FIN DE CARRERA

AUTOR: MARÍA LUISA ZAYAS DE DIEGO

TUTOR: RICARDO VERGAZ BENITO

Leganés, junio de 2011

Título: DESARROLLO DE UNA AYUDA TÉCNICA PARA ALUMNOS DEL
COLEGIO SAN RAFAEL (I)

Autor: María Luisa Zayas De Diego

Director: Ricardo Vergaz Benito

EL TRIBUNAL

Presidente: Cristina de Dios Fernández

Vocal: Julio Villena Román

Secretario: Carlos Marcos Lucas

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 27 de Junio de 2011 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

En primer lugar quiero decir que ¡¡por fin he terminado el proyecto!! Y le doy las gracias al mundo entero por poder terminar esta etapa y poder empezar un nuevo camino.

Ahora más específicamente se lo agradezco en primer lugar a mis padres ya que ellos me han costado la carrera y han tenido la paciencia necesaria a lo largo de los años para animarme y hacer que siga adelante. Así como también a mi hermano, ayudándome en alguna asignatura de programación, y mi cuñada con las asignaturas relacionadas con estadística y costes, y que además siempre se han interesado por ver cómo iba avanzando el proyecto.

Otro de mis grandes apoyos ha sido Fernando, mi novio desde hace ya 9 años que siempre ha estado ahí ya sea para escucharme despotricar de algún examen malicioso (o por lo menos así lo vería en ese momento), como para escucharme decir que por fin me he quitado Maquinas Eléctricas de en medio. Siempre ha sabido animarme y consolarme y ahora con el proyecto ayudándome en lo que al material necesario se refiere me ha proporcionado lo que necesitaba o me ha hecho de chofer para ir al Leroy Merlín o a recoger algún pedido a RS.

También se lo quiero agradecer a todas esas personas que me he ido cruzando en mi camino en la universidad, ya sea en el primer año como en el último. Ya sea ese compañero que te pone videos chorras en YouTube para que te rías un rato como el que te deja sus apuntes de la academia, ya sea el que te pasa las prácticas de otros años como algunos profesores que te demuestran que esa asignatura que no aguantabas tiene su encanto. Cada uno de ellos en su momento me ha ayudado ya sea académica o personalmente a seguir avanzando. Todas estas personas son Raquel, Cristina, Irene, Paula, Chema, Antonio, Manu, Álvaro, Carlos, Guille, Miguel, Marcos, Edwind Daniel, Lorenzo, Adri, Igor y más gente que podría nombrar pero ellos saben quién son.

Especialmente se lo quiero agradecer a Agustín, un chico que está trabajando en el laboratorio donde yo he estado realizando mi proyecto y que sin ninguna molestia me enseñó cómo se usaba el programador del laboratorio, me dejó documentación suya para que me sirviera de guía en la programación y me ayudó en lo que pudo cuando el motor no me funcionaba.

También a Jesús y a Cesar del Laboratorio de Tecnología Electrónica por su ayuda en los temas relacionados con la soldadura de algún que otro componente y las placas en general.

Como no, no me puedo olvidar de mis amigos de toda la vida que no solo me han apoyado durante la carrera, sino siempre que los he necesitado. Y ahora que termino el proyecto, más de uno no se podía creer que esto tenía un final ya que durante bastante tiempo la mayoría de sus preguntas eran: ¿Qué tal llevas el proyecto?; ¿Todavía no tienes el material suficiente para continuar?; ¿Otra vez no te funciona el motor?; ¿Cuándo piensas terminar el proyecto?. A todos ellos gracias por el interés y por las ganas que tenían de que por fin esto terminara.

También quiero agradecerse al personal del Colegio San Rafael ya que me lo han puesto todo lo fácil que han podido. Dentro de que ellos buscaban un tipo de especificaciones para el proyecto, me han dejado total libertad para hacerlo como a mí me resultara más fácil y dándome ideas para poder solucionar algunos temas tanto Javi como Raquel. A pesar de haber habido periodos en los que no sabían nada sobre cómo iba el proyecto, en ningún momento me han presionado y eso es de agradecer.

De la misma manera, quiero agradecerle a mi tutor el espacio que me ha dejado ya que ha habido periodos de tiempo de más de 1 mes en los que no he dado señales de vida y tampoco él me ha agobiado ni presionado con el tiempo que estaba tardando en realizar el proyecto. Y cada vez que le he enseñado algún “invento” para la construcción del cubo o algún circuito que he creado para alguna aplicación específica, no solo le parecía bien lo que le enseñaba sino que en muchos casos le entusiasmaba y eso, después de estar tiempo dándole vueltas a algo para ver cómo solucionarlo es gratificante.

¡Gracias a Todos!

Resumen

Mediante este proyecto se pretende fabricar un cubo que haga de intermediario en la comunicación de un niño con discapacidad de comunicación (funciones cognitivas bajas), con sus cuidadores para expresar lo que quiera hacer.

Se ha diseñado y construido el cubo comunicador. Este cubo se situará frente al niño, y girará sobre su propio eje preguntándole qué le apetece hacer. Mostrará una cara y emitirá un mensaje sonoro para indicarle la acción que se representará mediante un pictograma en esa cara. Si el niño quiere realizar alguna de las acciones representadas, deberá golpear la cara lateral del cubo. De esta forma, se emitirá un mensaje de atención para indicar a los cuidadores que ha decidido hacer la acción. El cubo dejará de girar para mostrar las opciones y cada vez que se le golpee en la cara lateral, emitirá el mensaje de atención. El cubo se sujeta mediante un tornillo alojado en la base, con un brazo fotográfico que irá fijado con una pinza en la mesa. La estructura del cubo consta de dos partes, la fija y la móvil. La fija es la que va unida a la base y por tanto al brazo fotográfico. Esta estructura es una torre circular que consta de varias plantas unidas mediante cuatro varillas roscadas que las atraviesan en sus cuatro extremos.

En esta torre se distribuye la circuitería electrónica del sistema. En la primera planta se aloja la batería recargable y una placa que convierte la tensión de la batería a 5V para alimentar al resto del sistema, una vez que se haya apretado el pulsador de encendido.

En la segunda planta se aloja el motor paso a paso y una placa que controla su funcionamiento. Esto se hará mediante el microcontrolador 8051 y un driver de potencia que manda una secuencia al motor para que gire 90 grados cada vez. Este motor va unido a un eje y a un aspa, que a su vez va unida a la estructura móvil, que es la parte externa del cubo. De esta forma, cuando tenga que cambiar de cara para emitir otro mensaje, se girará el motor desde la parte fija y girará la móvil.

La planta 3 va íntimamente ligada a la interfaz, ya que todo lo que se ve en la interfaz va conectado a la placa alojada en esta planta. Esta placa controla la grabación y reproducción de los mensajes mediante un microcontrolador 8051 y un chip-grabador. Estos mensajes serán las preguntas que se realizarán al niño y los mensajes de atención a los cuidadores. En esta planta también se integra un receptor infrarrojo, el cual detectará si se ha pulsado alguna cara lateral de la parte móvil. Esto es gracias a un emisor infrarrojo alojado en la parte móvil que

comunicará al receptor que se ha de reproducir el mensaje de atención correspondiente a la cara mostrada.

En la interfaz, situada bajo una tapa en la parte superior del cubo, también encontraremos el altavoz, el micrófono, un interruptor deslizante que nos dará la opción de grabar o reproducir, un pulsador que activará el proceso de grabar o reproducir, otro pulsador con el que se cambiará el tiempo que hay entre la presentación de una cara y otra, y un potenciómetro con el que podremos cambiar el volumen.

Cuando el cubo deja de usarse, se inicia una cuenta de 6 minutos. Pasado este tiempo se apaga el sistema automáticamente.

El sistema ha sido satisfactoriamente presentado al personal del Colegio del Hospital San Rafael de Madrid y probado por el usuario final, con quien se contó en todo momento del diseño y de la implementación, tal como se requiere en las directrices del Diseño para Todos.

Palabras clave: ayuda técnica, discapacidad mental, discapacidad motora, comunicador, motores paso a paso, control.

Abstract

This project seeks to produce a cube as a role of communicator in a disabled child's communication (low cognitive functions), with caregivers to express what he wants.

The design and manufacturing of the cube communicator has been made. This cube is placed in front of the child, and turn on its own axis asking the child for the next activity. It shows one side and emits a sound message to indicate the action that is represented by a pictogram on that side. If the child wants to do any of the actions represented, he should strike the side wall of the cube. In this way, a warning message will be issued to indicate to caregivers that the child has made up his mind. The cube will stop rotating to display the options, and every time that the child hits it on a lateral face, it will deliver the message to caregivers. The cube is held by a screw lodged in the base, with a photographic arm fixed with a clamp on the table. The structure of the cube consists of two parts, the fixed and mobile ones. The fixed one is one that is attached to the base and therefore to the photographic arm. This structure is a circular tower consisting of several plants stacked together by four threaded rods that pass through its four corners.

In this tower electronic circuitry of the system is distributed. On the first floor the rechargeable battery and a plate that converts the battery voltage to 5V to power the rest of the system, once you have pressed the starter button, are staying.

On the second floor the stepper motor and a board that controls its operation can be found. This is done by the microcontroller 8051 and a power driver that sends a stream to the motor to rotate 90 degrees each time. This motor is coupled to a shaft and a blade, which in turn is linked to the mobile structure, which is the outside part of the cube. Thus, when changing a view to issue another message, the motor turns from the fixed part rotating the mobile one.

Plant 3 is closely linked to the interface, and everything in the interface is connected to the board hat is on this plant. This plate controls the recording and playback of messages through an 8051 and a chip-recorder. These messages are the questions that will be made to child and the care messages to caregivers. This floor also includes an infrared receiver, which will detect whether a face was pressed on the mobile part. This is done by an infrared emitter placed on the mobile part to inform the receiver that it has to play the message of care regarding with the shown face.

As interface, located under a lid at the top of the cube, the speaker, microphone, a slide switch that will give us the option of recording or playback, a button that will activate the process of recording or playback, one button with which will change the time between the presentation of a face and another, and a potentiometer with which we can change the volume are found. When the bucket is no longer used, it starts a count of 6 minutes. After this time the system shuts down automatically.

The system has been successfully presented to the staff of the Colegio del Hospital San Rafael in Madrid and tested by the end user, who acted also as a supervisor of the design and implementation, as it is required by the guidelines of the Design for All.

Keywords: technical aid, mental disability, movement disability, communicator, step motors, control.

Índice general

1. Introducción y objetivos	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	4
1.3. Fases del desarrollo	5
1.4. Medios empleados.....	6
1.5. Estructura de la memoria	6
2. Diseño del Sistema	8
2.1. Estructura mecánica del cubo.....	8
2.2. Estructura electrónica del cubo	10
2.2.1. Base y Planta 1 (Figura 2.6)	11
2.2.2. Planta 2 (Figura 2.8).....	12
2.2.3. Planta 3 e Interfaz (Figura 2.10).....	13
2.2.4. Placa 4. Pulsadores	14
2.2.5. Conexión final	15
2.2.6. Funcionamiento general	16
3. Construcción del Sistema.....	19
3.1. Construcción mecánica	19
3.1.1. Sujeción del cubo	19
3.1.2. Material del cubo	20
3.1.3. Estructura Fija	21
3.1.4. Estructura Móvil	32
3.1.5. Sistema de colocación de las piezas.....	53
3.2. Construcción Electrónica	56
3.2.1. Planta 1.....	56
3.2.2. Planta 2.....	62

3.2.3. Planta 3.....	72
3.2.4. Consumo del Sistema.....	96
4. Resultados de operación	98
5. Conclusiones y trabajos futuros.....	101
6. Presupuesto	103
Referencias.....	111
Anexo 1. Programación AT89C2051	113
A.1. Programa en lenguaje C	113
A.2. Diagramas de flujo	116
Anexo 2. Programación AT89C4051	119
B.1. Programación en lenguaje C	119
B.2. Diagramas de flujo	127

Índice de figuras

<i>Figura 1. 1: Ismael interactuando con uno de los primeros cubos</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2. 1: Vista Isométrica superior de la estructura fija</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2. 2: Vista Isométrica superior de la parte móvil interna de 10 mm</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. 3: Vista Isométrica superior de la parte móvil externa de 6mm</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. 4: Diagrama de bloques de la estructura del cubo</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2. 5: Sección vertical del cubo</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2. 6: Detalle de la base y la planta 1 en el interior del cubo</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2. 7: Diagrama de Bloques del funcionamiento de la placa 1</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. 8: Detalle de la planta 2 en el interior del cubo</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. 9: Diagrama de Bloques del funcionamiento de la placa 2</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2. 10: Detalle de la planta 3 y la interfaz en el interior del cubo</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2. 11: Diagrama de bloques del funcionamiento de la planta 3 y la interfaz</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2. 12: Detalle de la colocación de la placa 4 en el cubo</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. 13: Diagrama de bloques del funcionamiento de la placa 4</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. 14: Diagrama de bloques de toda la estructura electrónica</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2. 15: Vista superior de la interfaz</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3. 1: Brazo fotográfico Manfrotto 143RC [2]</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3. 2: Pinza fotográfica Manfrotto Art. 035 [2]</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3. 3: Detalle de la posición de la base en el cubo</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3. 4: Plantilla de torneado para la base</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. 5: Plasmado de la plantilla en la base</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. 6: Vistas inferior y superior de la base</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3. 7: Detalle de la posición de las plantas en el cubo</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3. 8: Varillas roscadas M4</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3. 9: Corte de piezas de la plancha de PVC de 6 mm</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3. 10: Vista superior de una de las plantas interiores</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3. 11: Tornillo y tuerca de rosca 3/8 W</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3. 12: Vista inferior de la planta 1</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3. 13: Separadores hexagonales M2,5x10mm</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3. 14: Separadores hexagonales M3x50mm</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3. 15: Vista Superior de la Planta 2.</i>	<i>28</i>

<i>Figura 3. 16: Vista Superior de la Planta 3.</i>	28
<i>Figura 3. 17: Plantilla de torneado para la interfaz</i>	30
<i>Figura 3. 18: A la izquierda plancha de PVC y lámina de plástico en proceso de plasmar la plantilla. A la derecha, interfaz terminada y pintada.</i>	31
<i>Figura 3. 19: Imagen implantada en la hoja adhesiva para la interfaz</i>	31
<i>Figura 3. 20: Vista superior de la interfaz terminada</i>	32
<i>Figura 3. 21: Detalle de la colocación de la estructura interna móvil en el cubo</i>	32
<i>Figura 3. 22: Especificación del datasheet del torneado para la colocación de los pulsadores.</i>	33
<i>Figura 3. 23: Plantilla para la colocación de pulsadores, separadores y tornillo M3 en cada cara lateral de la estructura interna</i>	33
<i>Figura 3. 24: Detalle de la colocación de las escuadras en el interior de la estructura móvil</i>	34
<i>Figura 3. 25: Escuadra</i>	34
<i>Figura 3. 26: Tira de 20 zócalos</i>	35
<i>Figura 3. 27: Zócalo sin protección aislante</i>	35
<i>Figura 3. 28: Resultado de la colocación de los zócalos para los pulsadores</i>	35
<i>Figura 3. 29: A la izquierda muestra de la conexión interna entre el zócalo y la patilla del pulsador. A la derecha pulsador y forma de sus patillas</i>	35
<i>Figura 3. 30: Colocación y estructura interna de los pulsadores</i>	36
<i>Figura 3. 31: Conexión en la parte trasera de la cara lateral de los zócalos entre sí</i>	36
<i>Figura 3. 32: Vista interior de las caras del cubo</i>	36
<i>Figura 3. 33: Separación de zonas para la colocación de componentes</i>	37
<i>Figura 3. 34: Separadores de las caras laterales y tornillos ya cortados</i>	37
<i>Figura 3. 35: Detalle de uno de los separadores</i>	38
<i>Figura 3. 36: A la izquierda soporte para el imán con el vaciado realizado. A la derecha soporte con el imán incrustado.</i>	38
<i>Figura 3. 37: Situación y anclaje del soporte del imán en la parte trasera de la cara lateral</i>	39
<i>Figura 3. 38: A la izquierda vista exterior del resultado final de la cara lateral interna. A la derecha vista interior de la anterior.</i>	39
<i>Figura 3. 39: Vista inferior de la estructura</i>	40
<i>Figura 3. 40: Vista isométrica superior de la estructura</i>	40
<i>Figura 3. 41: Base de la estructura móvil</i>	40
<i>Figura 3. 42: Vista isométrica inferior</i>	40
<i>Figura 3. 43: Detalle de la colocación de las caras laterales externas de la parte móvil en el cubo</i>	41
<i>Figura 3. 44: Vista superior de la cara lateral externa</i>	41
<i>Figura 3. 45: Detalle de la zona intermedia entre la estructura externa e interna</i>	42
<i>Figura 3. 46: Detalle de la separación entre caras de la parte móvil</i>	42
<i>Figura 3. 47: Vista superior de la parte superior de la estructura externa</i>	43
<i>Figura 3. 48: Estructura montada de PVC de la parte móvil</i>	43
<i>Figura 3. 49: Tapa de la estructura móvil</i>	44
<i>Figura 3. 50: Sección de una pieza de hojalata</i>	44
<i>Figura 3. 51: Vista isométrica superior de la colocación de las planchas de espuma</i>	45
<i>Figura 3. 52: Vista superior del montaje del cubo</i>	45
<i>Figura 3. 53: Vista inferior de la estructura móvil. A la izquierda, se aprecia el hueco entre caras laterales. A la derecha espuma tapando el hueco al ras de la cara lateral externa</i>	46

<i>Figura 3. 54: Proceso de costura de la base de la funda</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3. 55: Caras laterales y base de la funda</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3. 56: Funda inferior con el velcro adherido.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3. 57: Pieza de PVC inferior del cubo con la funda grapada</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3. 58: Caras laterales y parte superior de la funda</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3. 59: Funda superior con el velcro adherido a la parte inferior</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3. 60: Pieza de PVC y funda superior</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3. 61: Tela para recubrir la tapa del cubo</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3. 62: Resultado final de la tapa</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3. 63: Cubo con la funda.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3. 64: Funda para CD.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3. 65: Funda recortada y con el velcro adherido.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3. 66: Resultado final de la funda fijada en la cara lateral</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3. 67: Diseño del eje de aluminio</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3. 68: Diseño del aspa de aluminio</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3. 69: Eje, aspa y motor unidos</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3. 70: Detalle de la unión del eje con el motor</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3. 71: Detalle de las marcas en las plantas para colocar la estructura fija</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3. 72: Detalle de las marcas para colocar la estructura móvil.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3. 73: Marcas situadas en los laterales de la base.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3. 74: Vista inferior de la pieza superior de la estructura móvil con las marcas de colocación.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3. 75: Detalle de la posición de la planta 1 en el cubo</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3. 76: Circuito realizado con Orcad para la placa de la planta 1</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3. 77: Estructura interna del relé.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3. 78: Vista superior de la placa 1 (placa de alimentación)</i>	<i>58</i>
<i>Figura 3. 79: Detalle de situación de componentes de la placa 1 (placa de alimentación)</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3. 80: Vista superior de la Planta 1</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3. 81: Cinta de fijación.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3. 82: Cargador de la batería</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3. 83: Relación entre el voltaje y amperaje de carga con la capacidad de la batería.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3. 84: Detalle de la posición de la planta 2 en el cubo</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3. 85: Circuito realizado con Orcad para la placa de la planta 2</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3. 86: Representación de golpear el cubo</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3. 87: Vector fuerza en el plano horizontal</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3. 88: Relación entre fuerza y momento</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3. 89: Representación del giro angular de una masa “m” a una distancia “r” del eje de giro</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3. 90: Motor Paso a Paso</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3. 91: Detalle sobre la conexión del oscilador al microcontrolador</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3. 92: Detalle del circuito de reset en Orcad</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3. 93: Diagrama de bloques del funcionamiento para activar el motor</i>	<i>68</i>
<i>Figura 3. 94: Estructura interna del ULN2064.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3. 95: Estructura interna del motor y código de colores de los cables.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3. 96: Vista superior de la placa 2 (placa de control motor)</i>	<i>71</i>

<i>Figura 3. 97: Vista superior de la Planta 2</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3. 98: Detalle de la posición de la planta 3 en el cubo</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3. 99: Estructura interna del Chip-Corder ISD25120</i>	<i>73</i>
<i>Figura 3. 100: Patillaje del Chip-Corder ISD25120</i>	<i>73</i>
<i>Figura 3. 101: Circuito de aplicación del ISD25120 tomado de su datasheet modificado con el microcontrolador AT89C4051 para la placa 3</i>	<i>76</i>
<i>Figura 3. 102: Diagrama de funcionamiento general de los modos del programa</i>	<i>78</i>
<i>Figura 3. 103: Diagrama de flujo para el modo 0</i>	<i>79</i>
<i>Figura 3. 104: Diagrama de flujo para el modo 1</i>	<i>80</i>
<i>Figura 3. 105: Diagrama de flujo para el modo 2</i>	<i>82</i>
<i>Figura 3. 106: Detalle del diseño en Orcad de la placa 3 del Circuito Amplificador de Audio</i>	<i>84</i>
<i>Figura 3. 107: Detalle del diseño en Orcad de la placa 3 del circuito del Demultiplexor</i>	<i>85</i>
<i>Figura 3. 108: Colocación del emisor y receptor infrarrojo</i>	<i>85</i>
<i>Figura 3. 109: Diseño en Orcad de la placa anexa a la Planta 3</i>	<i>86</i>
<i>Figura 3. 110: Vista superior de la placa anexa a la Planta 3</i>	<i>86</i>
<i>Figura 3. 111: A la izquierda espectro de salida del led infrarrojo. A la derecha forma y abertura de la emisión</i>	<i>87</i>
<i>Figura 3. 112: Sujeción de la placa anexa a la Planta 3 en la parte trasera de la cara interior 1 de la estructura móvil.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 3. 113: Estructura interna de un fotodiodo tipo PIN</i>	<i>88</i>
<i>Figura 3. 114: Detalle del diseño en Orcad de la placa 3 del circuito de detección de infrarrojos</i>	<i>88</i>
<i>Figura 3. 115: A la izquierda espectro de entrada del fotodiodo. A la derecha forma y abertura de la recepción</i>	<i>89</i>
<i>Figura 3. 116: Vista superior de la placa 3 (placa de sonido e interfaz)</i>	<i>90</i>
<i>Figura 3. 117: Detalle de la placa 3 para la conexión del jack</i>	<i>90</i>
<i>Figura 3. 118: Vista superior de la Planta 3</i>	<i>91</i>
<i>Figura 3. 119: Micrófono Electret.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 3. 120: Altavoz de 8KOhm</i>	<i>92</i>
<i>Figura 3. 121: Gráfica de equivalencia del sonido en dB</i>	<i>93</i>
<i>Figura 3. 122: Potenciómetro de una vuelta de 250 KΩ</i>	<i>93</i>
<i>Figura 3. 123: Mando de 20 mm</i>	<i>94</i>
<i>Figura 3. 124: Pulsador momentáneo de la interfaz.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 3. 125: A la izquierda configuración de un interruptor SPDT. A la derecha interruptor deslizable</i>	<i>95</i>
<i>Figura 3. 126: Vista superior de la interfaz</i>	<i>95</i>
 <i>Figura 4. 1: Base del cubo</i>	 <i>98</i>
<i>Figura 4. 2: Selección de tiempo: 1. 5 segundos; 2. 10 segundos; 3. 20 segundos</i>	<i>99</i>
<i>Figura 4. 3: Presentación de actividades: 1. Cara 1-Pelota; 2. Cara 2-Gusanitos; 3. Cara 3-Coche; 4. Cara 4-Música</i>	<i>99</i>
<i>Figura 4. 4: 1. Modo de grabación; 2. Modo de reproducción</i>	<i>100</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Propiedades del PVC expandido [1].....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 2: Componentes de la base</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3: Secuencia de pasos del motor paso a paso</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 4: Relación de pines entre el microcontrolador AT89C4051 y el chip-corder ISD25120....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 5: Descripción de los mensajes</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 6: Ejecución del programa para la presentación</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 7: Ejecución del programa en la fase de preguntas</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 8: Dirección memoria chip- corder que impone la interrupción dependiendo la cara en la que se encuentre</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 9: Salidas en función de las entradas del demultiplexor</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 10: Desglose de tiempos de ejecución en el sistema</i>	<i>96</i>

Capítulo 1

Introducción y objetivos

1.1. Introducción

Dentro del campo que puede abarcar la electrónica para diseñar diversos aparatos, útiles en su mayoría, solemos centrarnos en construir cada vez más cosas que nos simplifiquen la vida y sobre todo intentando que sea a un bajo coste. Pero hay un colectivo que sabemos que existe pero no le prestamos demasiada atención. Son las personas discapacitadas que necesitan mucho más que nosotros esos aparatos que nos hacen más fácil la vida, pero como cada persona tiene distintas habilidades y deficiencias, no hay muchos productos estándar que pueda usar un grupo de gente lo bastante amplio como para que una empresa vea que es rentable y decida comercializarlo.

Así pues, muchas de estas personas se encuentran con que lo que necesitan para ayudarles en su vida cotidiana, es demasiado caro o ni siquiera existe, por lo que con este proyecto, lo que pretendemos es poner nuestro granito de arena, ayudando a un niño llamado Ismael.

Este proyecto ha visto la luz gracias a la colaboración del Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas del departamento de Tecnología Electrónica con el Colegio de Educación Especial Hospital San Rafael para realizar distintos proyectos con el fin de ayudar a este centro en la labor que realizan con estos niños.

El Colegio de Educación Especial Hospital San Rafael, se trata de un colegio concertado que atiende alumnos plurideficientes motóricos, en funcionamiento desde 1976, y que, tras la remodelación de sus instalaciones y la renovación de su proyecto educativo hace 7 años, se

encuentra perfectamente preparado para acoger a alumnos con serias dificultades motoras y cognitivas.

Ismael es un niño con parálisis cerebral, que tiene movilidad reducida y una visión que según los cuidadores no es muy buena, ya que tiene las funciones cognitivas bajas. Ismael se comunica mediante sonidos que emite y movimientos pero no habla ni puede expresar exactamente lo que quiere. Por ello, los cuidadores nos han pedido que diseñáramos un cubo con el cual pueda pedir alguna chuchería o jugar a la pelota.

Hasta ahora, en el centro habían construido un cubo casero que se sujetaba a la mesa de Ismael con un brazo de fotografía y los cuidadores iban girando el cubo y preguntándole a Ismael si quería jugar o comer, dependiendo de la cara que se le estaba mostrando. En el caso de que Ismael quisiera lo que en ese momento le preguntaban, él daba un golpe con el puño a la cara del cubo, en caso contrario, no hacía nada. Es un caso de comunicación aumentativa por pictogramas o incluso por objetos reales (Figura 1.1). Es un sistema alternativo de comunicación que permite la expresión a través de símbolos, distintos a la palabra, sirviendo en este caso de apoyo en la comunicación verbal.



Figura 1. 1: Ismael interactuando con uno de los primeros cubos

Lo que los cuidadores nos piden, es que fabriquemos un cubo controlado electrónicamente, de tal forma que no tenga que estar nadie pendiente de girar el cubo y de decirle a Ismael lo que puede elegir hacer, y de forma que Ismael pueda afrontar estas decisiones con un grado mayor de autonomía. Esto revierte en su sensación de progreso, en su relación con el entorno, en el aprendizaje motórico, en el refuerzo de las relaciones causa-efecto, todo ello dentro del entorno educativo y de desarrollo de la autonomía personal en que se encuadra la formación en el Colegio presentado. A lo largo del desarrollo del proyecto, los cuidadores pensaron que estaría bien que de este cubo se pudieran beneficiar más niños, pero como cada uno de ellos tiene unas limitaciones diferentes, nos pidieron añadir un pulsador externo, para poder interactuar con él sin necesidad de golpearlo.

Inicialmente se ha buscado algún producto similar que cumpliera con estas peticiones, pero no encajaba en lo que se quería hacer. Se ha encontrado pulsadores robustos de madera resistentes a golpes que se pueden conectar a dispositivos que emiten mensajes, pero falta la parte visual, en la que se van mostrando con pictogramas. No obstante, estos productos ya estaban en el conocimiento de los cuidadores del centro, que son los primeros que han descartado esta opción debido a que la forma que tiene Ismael para golpear el cubo se le hace más fácil de forma vertical que horizontal y en todo momento querían un refuerzo visual en la ejecución del sistema.

Por tanto, para la fabricación de este proyecto, se ha tenido en cuenta los conceptos del Diseño para Todos [7], cuyo conocimiento es necesario en el ámbito de ayudas técnicas para discapacidad. Son 7 principios que se centran en el diseño utilizable universalmente o por todos los cuales son aplicables y de hecho se aplican a la ingeniería entre otros campos. Los principios son los siguientes:

1. Uso Equiparable
2. Uso Flexible
3. Simple e intuitivo
4. Información Perceptible
5. Con Tolerancia al Error
6. Que exija poco esfuerzo físico
7. Tamaño y Espacio para el acceso y uso

A pesar de que en un principio el proyecto estaba centrado sólo en un niño, se agregó un conector para un pulsador externo resultando utilizable para más niños.

Es flexible en cuanto a que se puede cambiar el tiempo de reacción para que se puedan activar los pulsadores, y por tanto simple en funcionamiento, ya que si el niño quiere algo, sabe que a la acción de golpear el cubo o el pulsador externo, habrá una reacción. Además el sistema ofrece la información necesaria al niño de forma visual y audible.

También a modo de protección, el pulsador que encenderá y apagará el sistema se ha situado en la base del cubo, en una región que se adentra unos centímetros de la base, para que sea lo menos accesible para los niños. Del mismo modo se ha forrado la estructura del cubo con espuma para evitar posibles daños tanto del usuario como de la propia estructura que a pesar de todo se ha fabricado con un material resistente a golpes pero rígido.

Los dos últimos principios se cumplen en cuanto a que no supone un esfuerzo elevado el golpear el cubo o activar el pulsador, así como a que tiene un tamaño y se puede colocar con el brazo fotográfico que sujeta el cubo, de distintas formas para que el uso sea accesible a todos.

1.2. Objetivos

El objetivo del trabajo es diseñar y desarrollar un cubo comunicador para Ismael. Los objetivos concretos de este trabajo se presentan a continuación en forma de las especificaciones que fueron determinadas al inicio del Proyecto, trabajando estrechamente con los cuidadores de Ismael. Por otra parte, éstos fueron también regulando algunas de dichas especificaciones a lo largo del desarrollo del Proyecto. Esto entronca con las premisas del Diseño para Todos.

Lo primero que tiene que hacer el cubo es mostrar una por una sus caras y lanzar un mensaje acústico en cada una de ellas para que Ismael sepa las opciones que va a poder elegir.

Una vez hecha esta presentación se volverá a mostrar la primera cara, pero ahora esperando un tiempo determinado para ver si Ismael golpea la cara del cubo o no. En caso afirmativo, sonará un mensaje pidiendo la atención de algún cuidador para que ayuden al niño a conseguir lo que pide. Si no golpea, pasará a la siguiente cara volviendo a esperar una respuesta u otra.

Este tiempo de respuesta, no tiene por qué ser siempre el mismo, ya que hay días que Ismael está más colaborativo que otros y habrá días en los que tarde menos en dar una respuesta y viceversa. A petición de los cuidadores, se instalará en el cubo una serie de botones en los que se pueda cambiar ese tiempo de espera.

Tal y como se plantea el problema, la solución elegida es fabricar tres placas. La primera será diseñada para la alimentación del sistema, la segunda para el funcionamiento y control del motor. La tercera, será la encargada de los mensajes de voz.

Para todo esto necesitamos que nuestro sistema contenga:

- Batería recargable
- Regulador de tensión
- Motor que tenga un par suficiente para mover el peso del cubo.
- Un driver de potencia para el motor.
- Microcontroladores para ejecutar las acciones pertinentes.
- Interfaz para ajustar el tiempo de espera.
- Dispositivo grabador de voz.
- Micrófono que permita grabar los mensajes.
- Altavoz para la reproducción de los mensajes.
- Interfaz para grabar/reproducir los mensajes.

Los objetivos específicos que el proyecto tendrá que cumplir son los siguientes:

- Comunicación entre la placa del motor y la de audio para sincronizarse.
- Colocación de los pulsadores en las distintas caras del cubo para detectar el golpe de Ismael.

- Construcción del cubo con PVC (ya que es un material ligero y resistente), espuma y tela.
- Anclaje del cubo con el pie fotográfico de tal forma que se puedan separar a elección del usuario.
- Sujeción de las placas dentro del propio cubo.

1.3. Fases del desarrollo

Podemos distinguir claramente cuatro fases en el desarrollo del proyecto:

- **Definición de objetivos.** Fue necesario realizar un estudio previo en colaboración con los tutores de los niños en el centro, para conocer de primera mano, las limitaciones de Ismael y cómo sería más fácil la interacción con el sistema. En esta fase definimos las necesidades del proyecto.
- **Diseño.** Una vez conocidas las necesidades del sistema, definimos las especificaciones técnicas de la fabricación de la carcasa del cubo, así como todo el diseño electrónico que lleva asociado a la estructura e internamente.
- **Desarrollo y pruebas.** Finalizado el diseño y conociendo los elementos requeridos, se procede al montaje de los circuitos eléctricos en el laboratorio. Se realizan las respectivas pruebas para verificar el funcionamiento del sistema y rectificar fallos.
- **Implementación.** Obtenido un funcionamiento correcto de los circuitos, se procede al montaje de los prototipos en placas de circuito impreso PCB. Se vuelve a verificar un correcto funcionamiento del sistema al completo y se fijan las placas en sus respectivas plantas. También se realiza la unión de todas las piezas de la estructura que conforma el cubo.

Hay que destacar que, como un elemento añadido y asociado a los principios del diseño para todos, se ha contado en todas las etapas del proyecto con la participación de los usuarios finales, a través de consultas con ellos, para orientar, mejorar y probar el diseño. Cabe decir que el mecanizado de la mayoría de las piezas, una vez descartada su fabricación por el servicio de Oficina Técnica de la Universidad Carlos III de Madrid, ha sido llevado a cabo por elaboración propia.

1.4. Medios empleados

Los medios adicionales con los que se ha contado para llevar a cabo el proyecto son los siguientes:

HARDWARE:

- LabTool 48: Es un programador universal con el que he programado los microcontroladores 8051.
- Herramienta multirrotativa Dremel 4000: Dada la gran variedad de accesorios disponibles, se ha usado para diversos trabajos, ya sea para cortar metales y PVC, lijar, pulir, taladrar, hacer vaciados en alguna pieza y realizar diversas formas en el PVC.
- Cutter: No siempre la mejor opción era la anterior, por lo que se ha utilizado bastante el cutter para realizar diversos cortes en el PVC.
- Útiles de soldadura: Tanto soldador como desoldador.
- Máquina de coser: Utilizada para la realización de la funda del cubo.
- Grapadora industrial: Usada para la fijación de la funda del cubo.

SOFTWARE:

- Keil μ Vision 3: Con este programa se ha realizado la programación en C para los microcontroladores
- LabTool48: Programa de soporte para el hardware y configurar el modo de programación y borrado de los microcontroladores.
- Solid Edge: Programa con el cual se han diseñado piezas en 3D para su fabricación en aluminio y las plantillas para el plasmado en PVC.

LABORATORIOS:

- Laboratorio de soldadura y taladrado: aquí se ha realizado todo el taladrado de las placas.
- Laboratorio de trabajo del Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas del departamento de Tecnología Electrónica (GDAF-UC3M): Se han usado útiles como la fuente de alimentación de CC, la fuente de AC, osciloscopio y el programador universal LabTool 48.

1.5. Estructura de la memoria

Para facilitar la lectura de la memoria, se incluye a continuación un breve resumen de cada capítulo.

- ✓ En el capítulo 2 se da una descripción general del diseño y funcionamiento del cubo para que la lectura de los posteriores capítulos sea más comprensible.

- ✓ En el capítulo 3 se explica todo lo relacionado con la construcción mecánica de la estructura del cubo en sí y cómo se va a fijar, así como toda la parte electrónica que se ha implantado en el sistema dividiéndolo en 3 partes.
 - La primera parte, correspondiente a la placa que se alojará en la planta1, se encargará de suministrar 5 V al resto del sistema y dispone de un apagado automático activado externamente.
 - La segunda parte, correspondiente a la placa que se alojará en la planta 2, se encargará de controlar los giros del motor, siendo esta acción activada externamente. También será la responsable de activar el apagado automático de la primera planta.
 - La tercera parte, correspondiente a la placa que se alojará en la planta 3, se encargará de gestionar los mensajes que se grabarán y reproducirán según corresponda. También se describirá la interfaz del usuario y el funcionamiento de una placa anexa a esta planta.
 - Por último se estudia qué autonomía tiene el cubo gracias a la duración de su batería recargable.
- ✓ En el capítulo 4 se muestran los resultados finales de funcionamiento del proyecto.
- ✓ En el capítulo 5 se analizan las posibles mejoras que se podrían realizar para una futura reproducción del prototipo.
- ✓ El capítulo 6 hace un balance del coste final del sistema.
- ✓ Por último se adjuntan las referencias y bibliografía que han ayudado a la elaboración de este proyecto. Más adelante se encuentran los anexos de la programación de los microcontroladores.

Capítulo 2

Diseño del Sistema

El diseño proyectado es tanto estructural como electrónico. Se ha diseñado todo desde cero atendiendo a las peticiones del usuario. En este capítulo se desglosa la estructura del cubo desde el interior al exterior y más adelante la funcionalidad de la parte electrónica.

2.1. Estructura mecánica del cubo

Se ha diseñado el sistema con dos partes diferenciadas en cuanto a su estructura. Una estructura fija (Figura 2.1) en la que se ha situado el motor, que gira la estructura móvil (Figuras 2.2 Y 2.3).

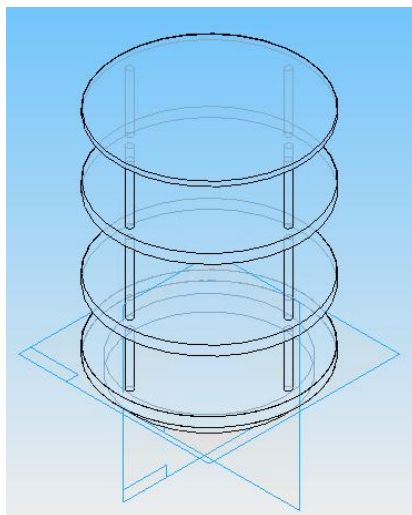


Figura 2. 1: Vista Isométrica superior de la estructura fija

En la parte móvil se ha diseñado una estructura de 10 mm de grosor, que rodea y protege la parte fija. Esta estructura también sirve para alojar pulsadores en sus caras, que al cerrarse alguno de ellos, se comunica con la parte fija mediante un emisor donde se alojan receptores.

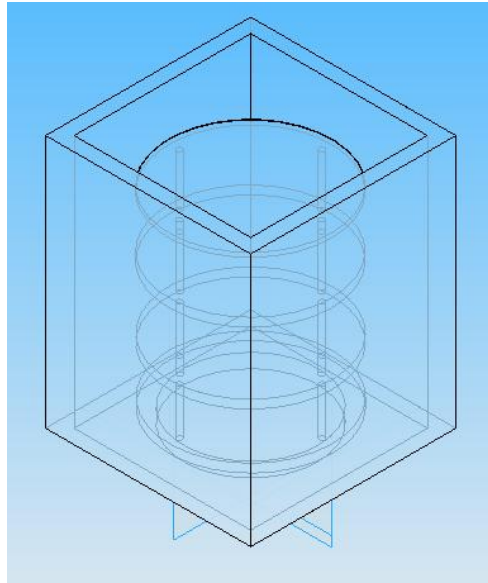


Figura 2. 2: Vista Isométrica superior de la parte móvil interna de 10 mm

Externamente a esta estructura se han colocado en cada cara lateral una pieza de PVC de 6mm de grosor, que al ser presionadas, activa los pulsadores y a su vez el emisor colocado en la estructura interna (Figura 2.3).

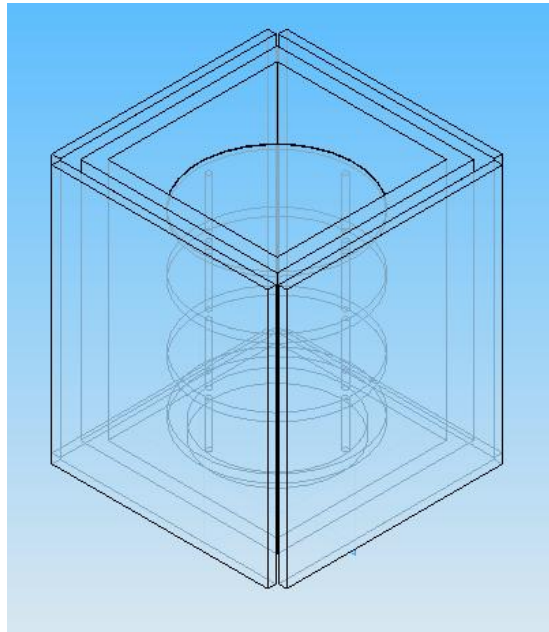


Figura 2. 3: Vista Isométrica superior de la parte móvil externa de 6mm

El resumen del diseño estructural del cubo es el que se ve en la siguiente Figura 2.4.

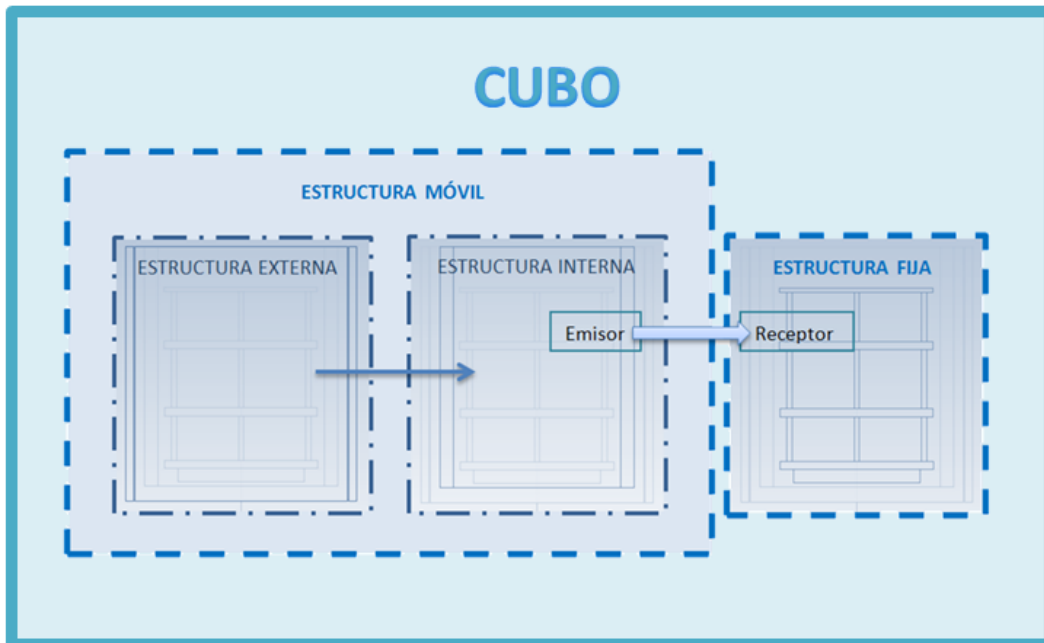
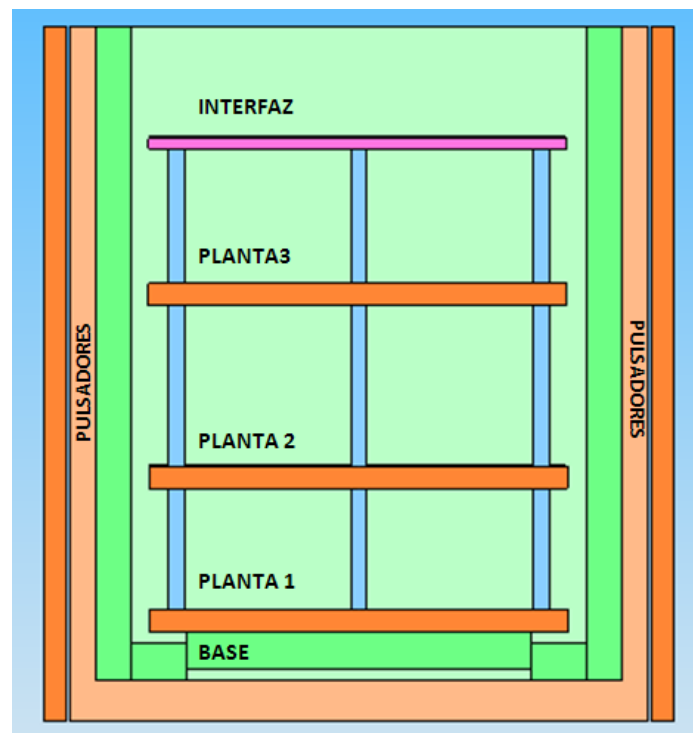


Figura 2. 4: Diagrama de bloques de la estructura del cubo

2.2. Estructura electrónica del cubo

Toda la parte electrónica se aloja en la estructura fija, que como se ve en la Figura 2.5, se divide en varias plantas.



Leyenda

- PVC de 10 mm
- PVC de 6 mm
- PVC de 3 mm
- Varillas de sujeción

Figura 2. 5: Sección vertical del cubo

La base y la planta 1 van íntimamente ligadas, así como la planta 3 y la interfaz. En cada planta se aloja una placa de circuito impreso.

2.2.1. Base y Planta 1 (Figura 2.6)

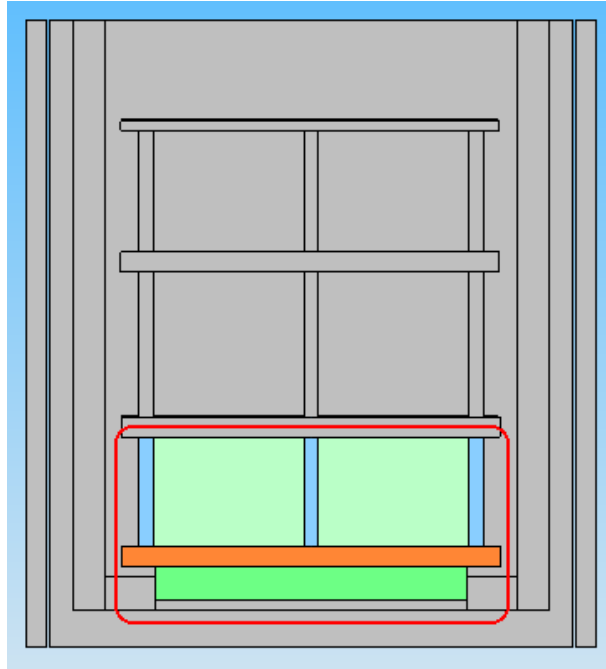


Figura 2. 6: Detalle de la base y la planta 1 en el interior del cubo

En esta planta se aloja una batería de litio y una placa encargada de suministrar una alimentación de 5V a todo el sistema. A esta placa van unidos componentes que se alojan en la base como un pulsador de encendido, un portafusible, un conector para cargar la batería y conector jack. En la Figura 2.7 se observa su funcionamiento.

La base se ha colocado más internamente que la base del cubo en sí, para que el pulsador de encendido tenga un difícil acceso para el niño que lo esté utilizando.

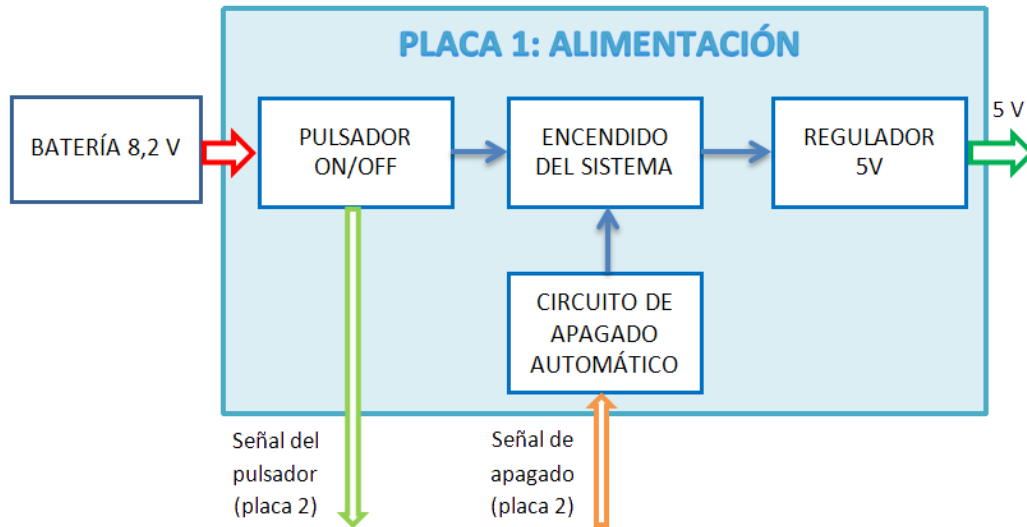


Figura 2. 7: Diagrama de Bloques del funcionamiento de la placa 1

2.2.2. Planta 2 (Figura 2.8)

En esta planta se aloja el motor que gira la parte móvil del cubo y la placa encargada de su funcionamiento.

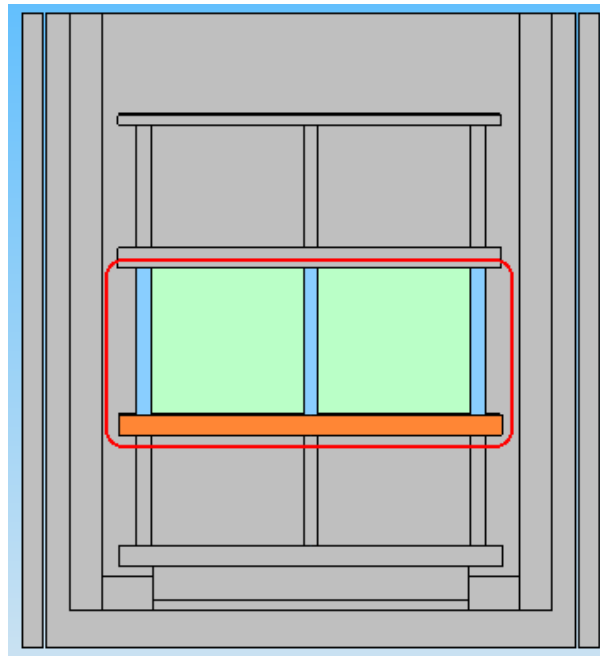


Figura 2. 8: Detalle de la planta 2 en el interior del cubo

En esta planta se encuentra un microcontrolador 8051 encargado de generar una sucesión de pulsos para energizar el motor a través de un dispositivo de potencia (Figura 2.9). También se comunicará con la planta 1 y 3 para conocer el estado del sistema y proceder a su desconexión cuando sea necesario.

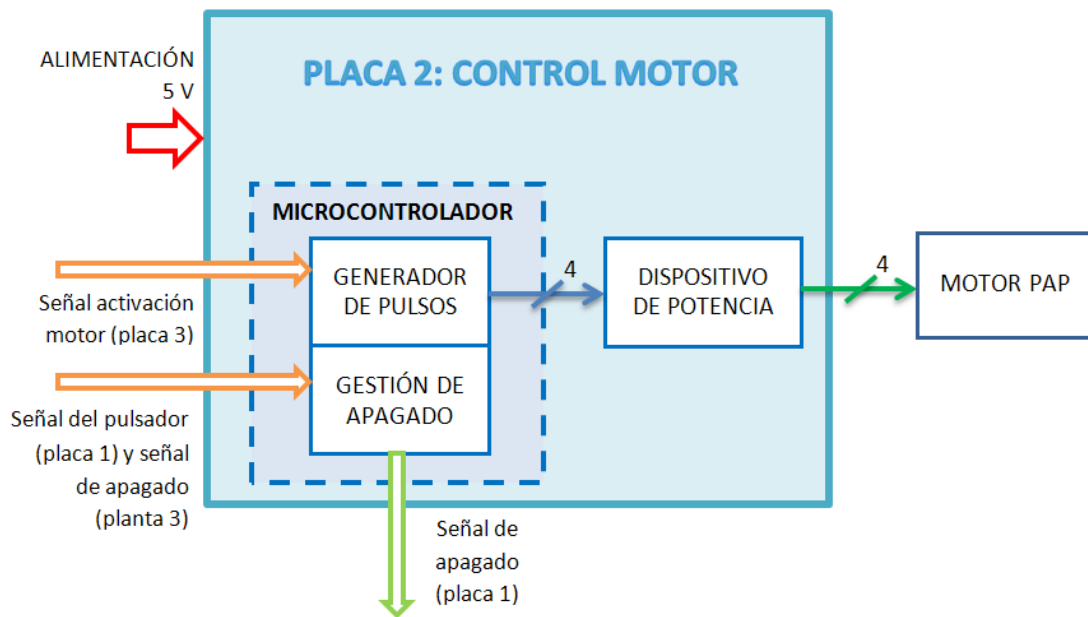


Figura 2. 9: Diagrama de Bloques del funcionamiento de la placa 2

2.2.3. Planta 3 e Interfaz (Figura 2.10)

La placa 3 se encarga del control de los mensajes que se emiten, así como de la comunicación con los controles de la interfaz y los pulsadores alojados en las caras laterales.

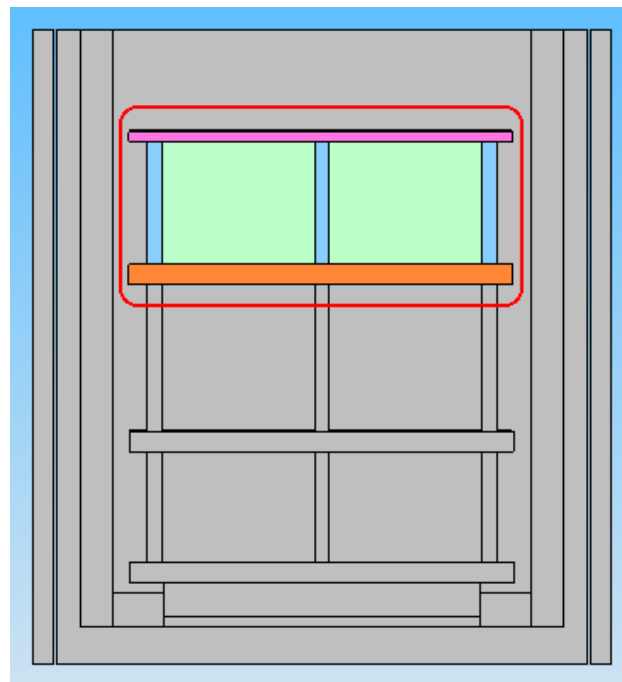


Figura 2. 10: Detalle de la planta 3 y la interfaz en el interior del cubo

En esta planta se encuentra un microcontrolador 8051 encargado de gestionar el circuito integrado grabador/reproductor, ISD25120. También gestiona la comunicación con los componentes de la interfaz así como la comunicación con las otras placas.

También dispone de un circuito amplificador para poder variar el volumen de salida del altavoz situado en la interfaz.

En la Figura 2.11 se muestra el funcionamiento por bloques de esta placa.

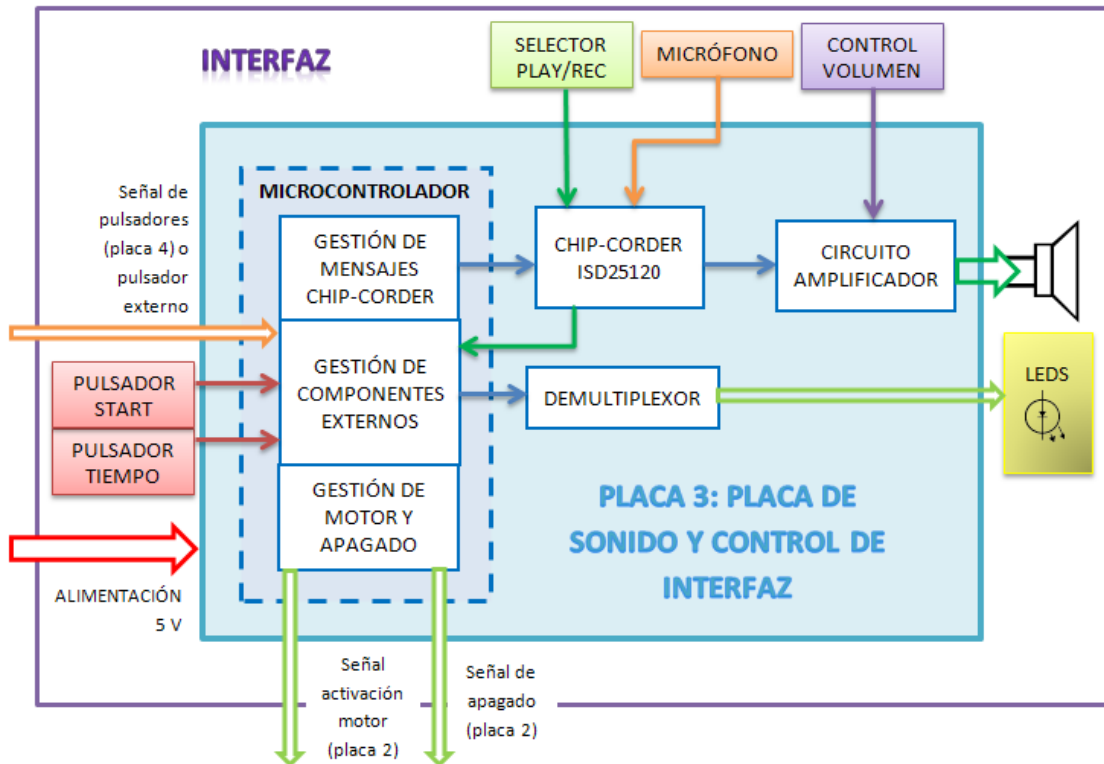


Figura 2. 11: Diagrama de bloques del funcionamiento de la planta 3 y la interfaz

2.2.4. Placa 4. Pulsadores

La placa 4 se encuentra situada como ya se dijo en el diseño de la estructura mecánica del cubo (emisor en la Figura 2.4) en la estructura interna móvil, en una de las caras (Figura 2.12).

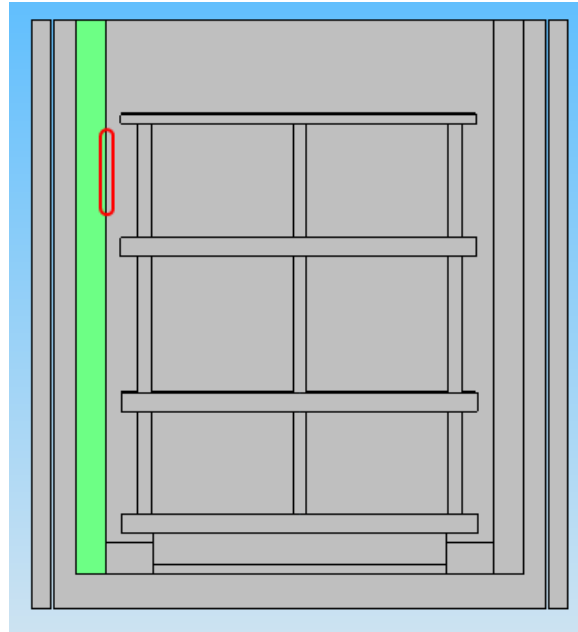


Figura 2. 12: Detalle de la colocación de la placa 4 en el cubo

Los pulsadores alojados entre la estructura interna y externa móvil (Figura 2.5) se conectan a esta placa 4 (Figura 2.13), de tal forma que cuando algún pulsador se active, el emisor manda una señal a la placa 3 (Figura 2.11).

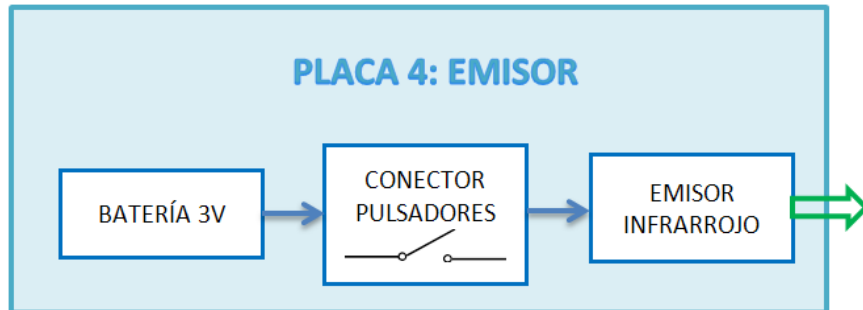


Figura 2. 13: Diagrama de bloques del funcionamiento de la placa 4

2.2.5. Conexión final

El resultado de la unión de todas las placas es el mostrado en la Figura 2.14.

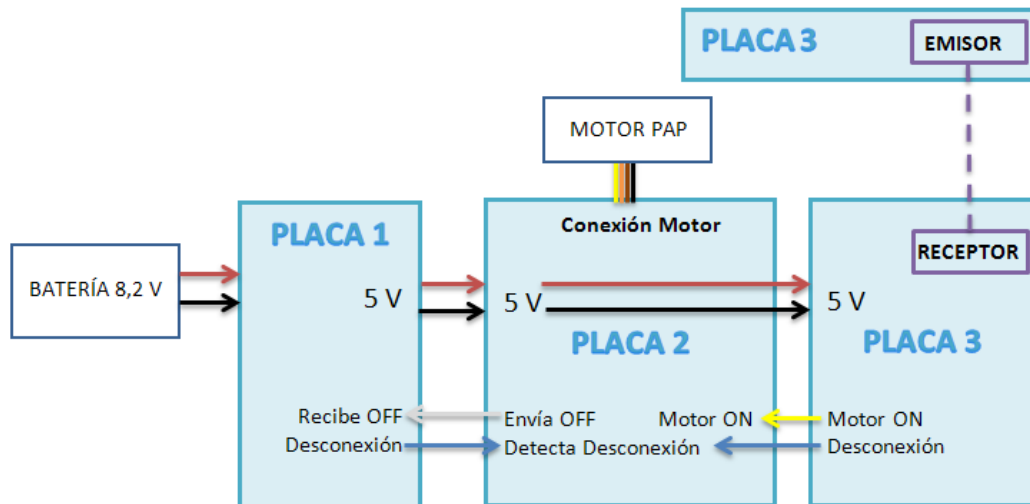


Figura 2. 14: Diagrama de bloques de toda la estructura electrónica

Ahora que ya se ha explicado el diseño general de la parte electrónica se puede proceder a explicar cuál es el funcionamiento general para éste.

2.2.6. Funcionamiento general

Antes de empezar a explicar cómo se ha hecho toda la parte mecánica y electrónica, y para qué sirve cada parte, se muestra a continuación cómo se ha diseñado el funcionamiento del sistema para que más adelante se le dé mayor sentido a la lectura.

Para encender el cubo se debe presionar el pulsador que hay en la base del mismo (Figura 2.7). Una vez encendido se dispone de 6 segundos para que empiece la presentación de las actividades que ofrece el cubo.

Durante esos 6 segundos, se podrá cambiar con el pulsador TIEMPO, el tiempo de reacción que tendrá el niño para pulsar la cara lateral correspondiente a la acción que desee realizar (Figura 2.11).

En estos 6 segundos, también cabe la posibilidad de pulsar el botón START (Figura 2.11), para detener esta cuenta, y proceder a grabar y/o reproducir los mensajes que posteriormente se usarán en la secuencia normal.

Opción 1: Pulsar TIEMPO

Al pulsar el interruptor momentáneo TIEMPO, se cambia el tiempo de reacción que tendrá el niño, desde que se le pregunta qué quiere hacer hasta que pulse para confirmar la acción. En la Figura 2.15 se observan 3 leds amarillos los cuales indican 3 tiempos diferentes: 5, 10 y 20 segundos. Estos leds son los controlados en la placa 3 vista anteriormente (Figura 2.11).



Figura 2. 15: Vista superior de la interfaz

Cada vez que se pulse, se pasará consecutivamente de un tiempo a otro encendiéndose un led cada vez. Una vez que se haya pulsado por última vez el botón TIEMPO, se volverá a contar 6 segundos antes de empezar con la secuencia normal de funcionamiento.

Opción 2: Pulsar START

La primera vez que se pulsa START, se para la cuenta de 6 segundos, y dependiendo de la posición del selector de PLAY/REC, se encenderá para PLAY el primer led amarillo (el de 5 segundos en la Figura 2.15) y para REC el último led, que es rojo.

REPRODUCIR: Se debe poner el selector en posición PLAY. Para iniciar la reproducción se pulsará el botón START. Una vez finalizado el mensaje que tendrá una duración total de 5 segundos, se podrá reproducir el siguiente mensaje pulsando de nuevo START. En total hay 13 mensajes que como se verá más adelante se dividen en 3 grupos. Cuando se reproduzca el grupo 1 (mensajes del 8 al 12), se encenderá el primer led, el correspondiente a 5 segundos en la Figura 2.15; para el grupo 2 (mensajes del 4 al 7) el segundo led correspondiente a 10 segundos; y para el grupo 3 (mensajes del 0 al 3) el tercer led amarillo.

GRABAR: Se debe poner el selector en la posición REC. Para iniciar la grabación se pulsará el botón START teniendo una duración de 5 segundos cada mensaje. Inicialmente estará encendido el led rojo para indicar que está preparado para grabar. Al iniciar la grabación se iluminará el led amarillo que corresponda con el grupo del mensaje, para que visualmente quede claro que se está grabando. Al finalizar los 5 segundos de grabación se volverá a encender el led rojo como muestra de reposo, a la espera de una nueva grabación.

Si el selector PLAY/REC no se cambia de posición se irán reproduciendo/grabando los mensajes de forma consecutiva y en orden cada vez que se pulse START. Si se cambia el selector, se reproducirá o grabará el mensaje que anteriormente hayamos grabado o reproducido. Es decir, la dirección del mensaje no cambia si el selector PLAY/REC cambia posición.

Si se graba un mensaje y cambiamos el selector a PLAY, escucharemos el mensaje que acabamos de grabar. Si queremos modificar la grabación, se cambiará otra vez a REC y se procederá a grabar como se ha dicho antes. En caso de estar reproduciendo el mensaje y estar de acuerdo con él, no cambiaríamos el selector, y se escucharía el siguiente mensaje guardado.

Opción 3: No hacer nada

Tras pasar 6 segundos, el cubo empezará a emitir mensajes para presentar las diferentes actividades que se podrán hacer. Para ello, en la cara que se muestre en ese momento, se emitirá el mensaje de presentación correspondiente, y luego girará a la siguiente cara para repetir la misma acción. Una vez que se haya completado la presentación de las cuatro caras, el cubo se posicionará de nuevo en la primera cara.

En esta nueva fase, se preguntará en cada cara si se desea realizar la acción que hay en ella representada. Una vez que el mensaje haya terminado se empezará una cuenta igual al tiempo seleccionado con el pulsador TIEMPO, que será el tiempo que tendrá el usuario para pulsar la cara del cubo confirmando que quiere realizar esa acción. En caso de no pulsarla, el cubo girará a la siguiente cara y se repetirá el mismo proceso.

Cuando se pulse alguna de las caras, se mandará un mensaje de atención a los cuidadores y el cubo empezará una cuenta de 6 minutos en la que de no ser apagado manualmente lo hará de forma automática transcurrido este tiempo.

Tras haber pulsado la cara y haber emitido el mensaje de atención, se puede volver a pulsar la cara del cubo para que se vuelva a emitir el mensaje. Si lo que se precisa en ese momento es volver a repetir la fase de preguntas, habrá que pulsar START. Tras pulsar el botón se esperarán 6 segundos antes de empezar la fase de preguntas, en los cuales se podrá cambiar de nuevo el tiempo de retardo con el pulsador TIEMPO. Pasado este tiempo el cubo girará las veces oportunas para colocarse en la primera cara y así empezar de nuevo a emitir los mensajes preguntando qué acción se desea realizar igual que anteriormente.

Cabe la posibilidad de que se haya realizado la fase de preguntas en todas las caras y no se haya pulsado ninguna cara. Si esto sucede, se empezará la cuenta de 6 minutos para el apagado automático. No obstante, se podrá pulsar START para comenzar esta fase de nuevo.

Capítulo 3

Construcción del Sistema

La construcción de este proyecto ha sido de forma totalmente artesanal a excepción de unas piezas de aluminio que se han mandado fabricar, pero con diseño propio hecho por ordenador.

3.1. Construcción mecánica

3.1.1. Sujeción del cubo

El cubo irá sujeto a un brazo fotográfico proporcionado por el propio centro del Colegio San Rafael. La marca y modelo del brazo en cuestión es Manfrotto 143 RC (Figura 3.1). Dispone de un codo ajustable con una palanca de fijación, y muñecas en los extremos en los que hay unos tubos roscados. El tipo de rosca es Whitworth (rosca inglesa), y el diámetro se expresa en fracciones de pulgada.



Figura 3. 1: Brazo fotográfico Manfrotto 143RC [2]

En un extremo la rosca es de 1/4 W, en la cual se unirá la pinza Manfrotto Art. 035 (Figura 3.2), que servirá para fijar el brazo fotográfico a una mesa o superficie similar para que el brazo quede fijado frente al usuario.



Figura 3. 2: Pinza fotográfica Manfrotto Art. 035 [2]

El otro extremo la rosca es de 3/8 W, que es la que se utilizará para fijar el cubo.

El brazo es de aluminio teniendo un peso de 1,09 Kg y pudiendo soportar un peso máximo de 4 Kg, lo cual es más que suficiente ya que el cubo final pesa algo menos de 2 Kg.

3.1.2. Material del cubo

El material elegido es el PVC ya que es un material rígido y poco pesado, y además resiste los golpes sin quebrarse ni presentar ningún tipo de astillamiento.

Es un material ligero, dotado de alta resistencia a los choques, no absorbe el agua, es difícilmente inflamable y es un aislante eléctrico eficaz.

En la siguiente tabla se pueden observar todas las propiedades del PVC expandido Multicel.

	PROPIEDADES	METODO	UNIDAD	VALOR
PROPIEDADES GENERALES	Densidad real	DIN 53479	g/cm ³	0,78
	Absorción de agua	ISO R62	%	0,19
PROPIEDADES MECÁNICAS	Tensión al límite elástico	ISO 179	N/mm ²	≥20
	Resistencia a los choques	ISO 868	KJ/m ²	1,43
	Dureza shore D			63
	Resistencia a la tracción			19,37
	Porcentaje de alargamiento a la rotura	ISO R527	%	18
	Módulo de elasticidad		N/mm ²	1000
	Módulo de flexión	ISO 176	GPa	0,903
PROPIEDADES TÉRMICAS	Tensión de compresión	ISO 527	%	7
	Punto de ablandamiento prueba VICAT	ISO R306 méthode A	°C	75
	Coefficiente de dilatación lineal	DIN 52612	par °C	0,496 x 10 ⁻⁶
	Conductividad térmica	ISO 075 méthode A	W/Km	57,75
PROPIEDADES ESPECIALES	Temperatura de deformación		°C	57,75
	Resistencia superficial		CTI	>10 ¹² Ω
	Resistencia a las corrientes de fuga			600
	Constante dieléctrica 103Hz		KV/mm	2,4
PROPIEDADES ESPECIALES	Resistencia disruptiva			>12
	Comportamiento al fuego	DIN 4102	M1	

Tabla 1: Propiedades del PVC expandido [1]

3.1.3. Estructura Fija

3.1.3.1. Base

La parte fija se sustenta en una base circular de PVC de 10 mm (Figura 3.3), en la cual se han instalado el botón de encendido/apagado, el portafusibles del sistema, el conector para cargar la batería y un conector de jack para pulsadores externos.

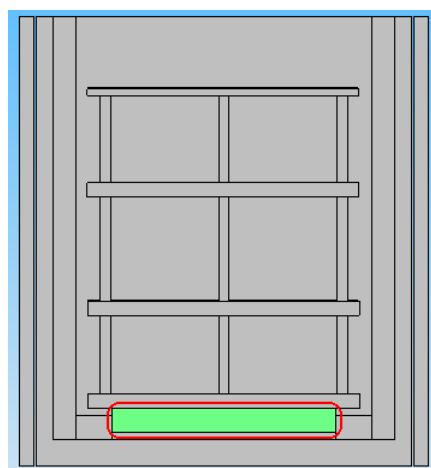


Figura 3. 3: Detalle de la posición de la base en el cubo

Para colocar todo lo anterior se ha realizado una plantilla (Figura 3.4), en la que se han tenido en cuenta las medidas ofrecidas por los datasheets de los componentes implementados, para posteriormente plasmarla en la pieza de PVC. Con la ayuda de la multiherramienta rotativa Dremel y un cúter realizar todos los huecos necesarios.

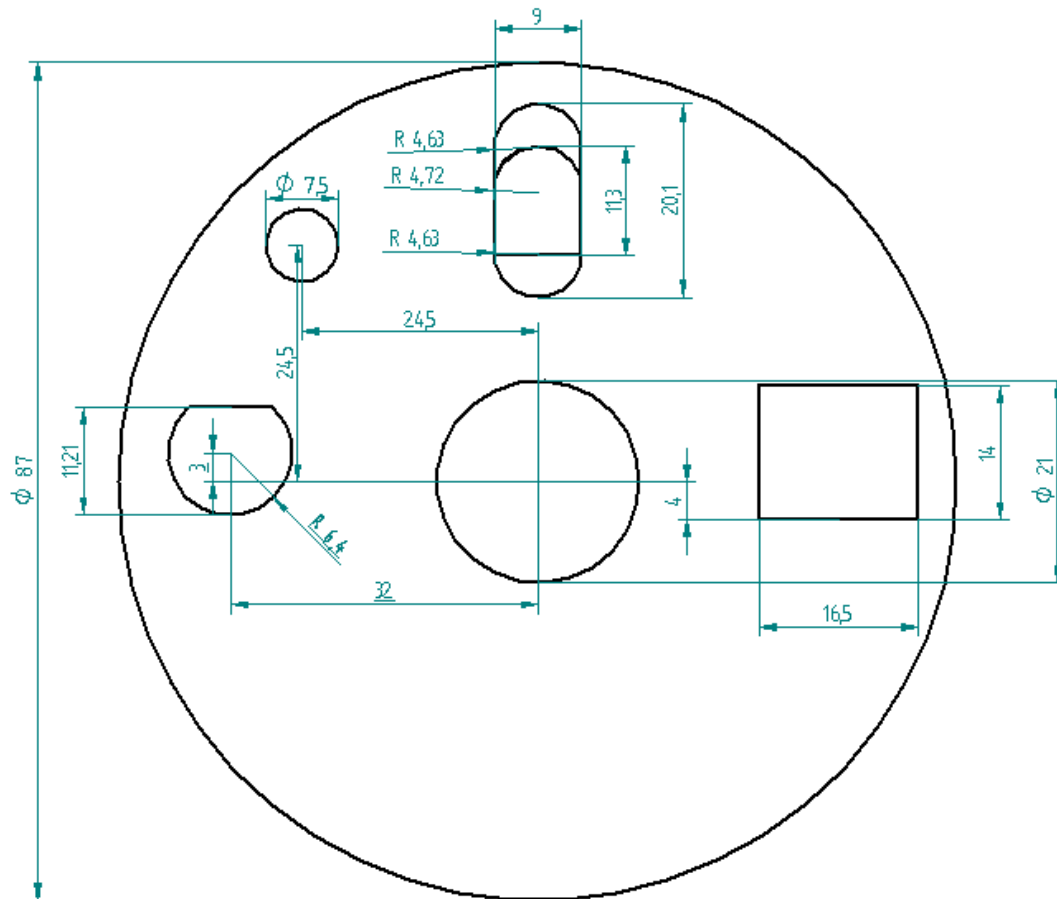


Figura 3. 4: Plantilla de torneado para la base

El hueco del componente situado en el centro superior de la base donde se inserta el conector para el cargador de la batería, se ha tallado en dos partes. Se ha realizado el vaciado de la silueta interior en la pieza. Luego por la parte posterior de la base se ha hecho un vaciado con la forma exterior de la silueta de 2,6 mm. Esto es debido a que la pieza de PVC tiene un grosor de 10 mm, y la silueta interior del componente tiene una profundidad de 7,4 mm.

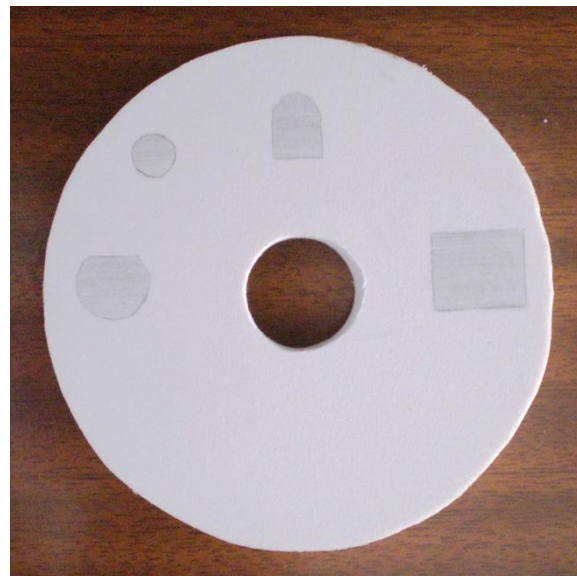


Figura 3. 5: Plasmado de la plantilla en la base

La pieza tiene las siguientes dimensiones: círculo de radio externo = 43,5 mm; círculo de radio interno = 10,5 mm. El círculo interno es un hueco para alojar una tuerca que fijará el tornillo de sujeción del cubo (Figura 3.10), y el tubo roscado del brazo fotográfico.

Esta base va unida a la primera planta de la parte interior del cubo a la que se le ha plasmado la misma plantilla para encajar los distintos componentes, con la diferencia de que para el componente central (conector batería), se ha atendido sólo a la silueta exterior.

Este es el resultado final con la pieza forrada con la tela que recubre todo el exterior del cubo (Figura 3.6). En la parte inferior de la base se realizarán dos agujeros con una broca de 1,5 mm para atornillar el componente central con tornillos M2x5 mm.

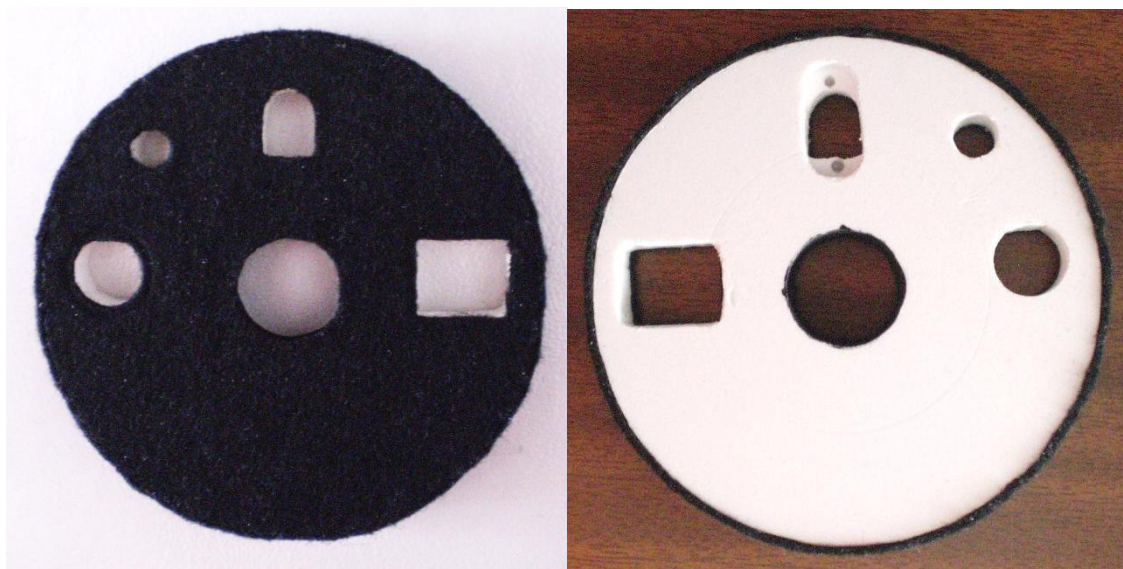


Figura 3. 6: Vistas inferior y superior de la base

COMPONENTES DE LA BASE

DESCRIPCIÓN	IMAGEN ILUSTRATIVA
Conector hembra de baja tensión de 2,1 mm	
Interruptor SPDT de 2 A nominales de corriente de contacto	
Portafusible de 5x20 mm	
Conector Jack hembra de 3,5 mm	

Tabla 2: Componentes de la base

3.1.3.2. Plantas internas

La estructura interna consta de tres plantas y la interfaz (Figura 3.7) unidas entre sí por cuatro varillas roscadas de rosca M4.

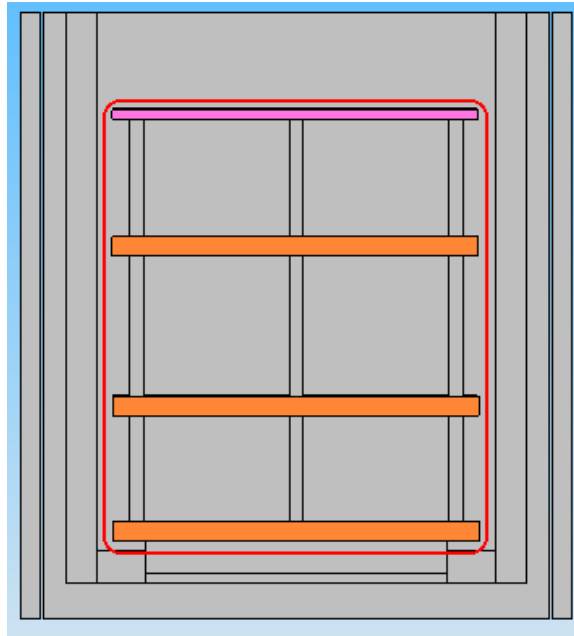


Figura 3. 7: Detalle de la posición de las plantas en el cubo

Estas varillas (Figura 3.8), se han cortado para que tengan una longitud total de 133 mm.



Figura 3. 8: Varillas roscadas M4

Estas plantas tienen un diámetro de 11,5 cm, que han sido cortadas de una plancha de PVC de 6 mm de grosor (Figura 3.9).

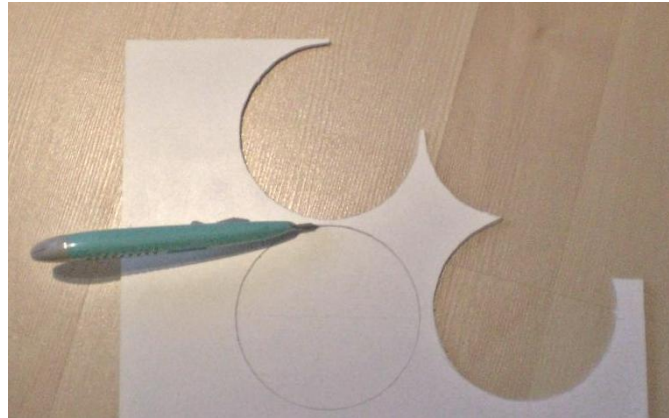


Figura 3. 9: Corte de piezas de la plancha de PVC de 6 mm

En cada pieza circular, se ha trazado una circunferencia de 10 cm de diámetro que intersecta con dos líneas perpendiculares entre sí que se cruzan en el centro de la circunferencia. En estos puntos se ha agujereado las piezas con una broca de 3mm. Posteriormente, se les practica de forma manual la rosca M4 en cada agujero, para poder unir todas las piezas con las varillas roscadas, siendo el resultado el de la Figura 3.10.

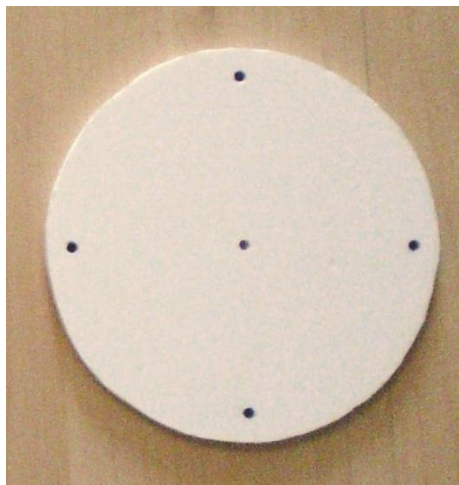


Figura 3. 10: Vista superior de una de las plantas interiores

Primera Planta

Como se ha dicho anteriormente, esta primera planta va unida a la base y por tanto debe tener los distintos huecos de los elementos insertados en la base. Por tanto se le han realizado los huecos con la misma plantilla que a la parte superior de la base (Figura 3.4).

También tiene un agujero en el centro de 9 mm, donde se alojará el tornillo para unir el cubo con el brazo fotográfico.



Figura 3. 11: Tornillo y tuerca de rosca 3/8 W

Este tornillo a pesar de ir fijado con una tuerca (Figura 3.11), a la pieza de la planta 1, también irá sujeto a ella con masilla epoxi.

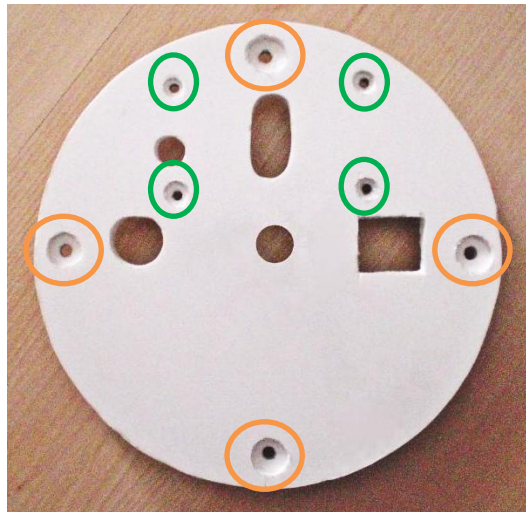


Figura 3. 12: Vista inferior de la planta 1

En los cuatro agujeros situados en los extremos (Figura 3.12, señalados en naranja), se ha realizado un vaciado de unos 3 mm de profundidad y 9 mm de diámetro, para que al sujetar las varillas con las tuercas, estas queden al ras de la pieza.

Los otros cuatro agujeros de la parte de arriba de la pieza realizados con una broca de 2 mm se les practica de forma manual una rosca de M2,5 y también tienen un vaciado de unos 2 mm de profundidad y 5 mm de diámetro para que la cabeza del tornillo quede al ras de la pieza (Figura 3.12, señalados en verde). Estos tornillos de medida M2,5x10mm sujetarán por la parte superior de la pieza de PVC unos separadores hexagonales de 10 mm de largo, que se encargan de sujetar la placa alojada en esta planta fijándola con unos tornillos M2,5x5mm (Figura 3.13).

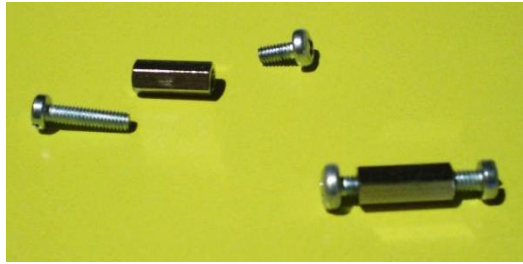


Figura 3. 13: Separadores hexagonales M2,5x10mm

Segunda Planta

En esta planta se aloja el motor, fijado con unos separadores de 3 cm (ver Figura 3.14), por lo que se han realizado dos agujeros con una broca de 2,5 mm para alojar unos tornillos M3x14mm, que se unirán a los separadores, y estos se anclarán al motor con otros dos tornillos M3x9mm.



Figura 3. 14: Separadores hexagonales M3x50mm

La situación de los agujeros en la pieza se plantea atendiendo a las dimensiones indicadas en el datasheet del motor, dejando en el centro de la pieza el eje del mismo, centrado en la línea intermedia de dos de los agujeros roscados para las varillas (ver Figura 3.15, agujeros A y B).

Debido a que los fijadores del motor tienen una altura ligeramente menor a la de los separadores, se ha realizado un vaciado en los agujeros donde se sitúan los fijadores (Figura 3.15, agujeros X e Y), en la cara superior de la pieza, de 1 mm de profundidad y 7 mm de diámetro.

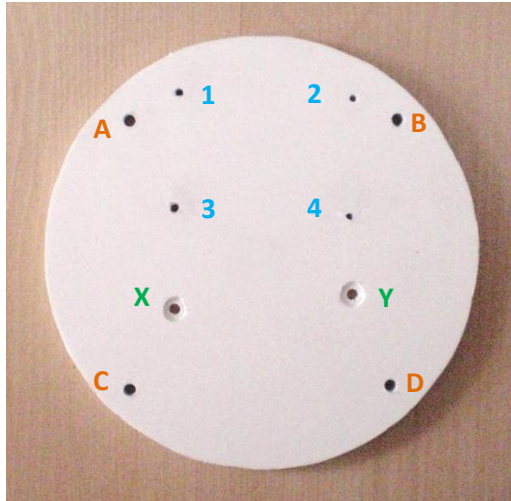


Figura 3. 15: Vista Superior de la Planta 2.

Entre los dos agujeros roscados para las varillas (Figura 3.15, agujeros A y B), se ha realizado el roscado en cuatro agujeros (Figura 3.15, agujeros 1, 2, 3 y 4), para colocar la placa correspondiente a esta planta con los separadores mencionados anteriormente (Figura 3.13).

Los agujeros de los laterales de la placa 1 y 2, se colocarán a 12 mm de la paralela que forman los agujeros de las varillas roscadas A y C. Tomando como referencia la línea horizontal del diámetro de la circunferencia, los agujeros inferiores de la placa se colocarán en paralelo a 12mm de esta.

Tercera Planta

Esta planta está situada justo encima del motor, por lo que para que se pueda tener un mejor acceso al eje del motor y poder ahorrar espacio en la dimensión de la altura de la estructura interna, se ha realizado un agujero concéntrico de 6 cm de diámetro (Figura 3.16).

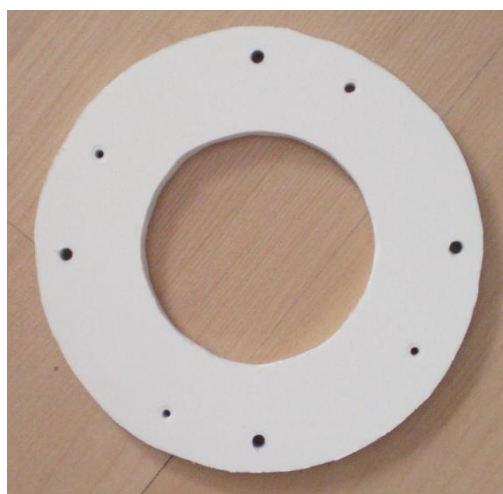


Figura 3. 16: Vista Superior de la Planta 3.

Los cuatro agujeros más pequeños se han roscado para tornillos de 2,5 mm, para alojar una placa de circuito electrónico impreso (PCB) con los separadores de 10mm mostrados anteriormente (Figura 3.13).

Para situar la placa, se ha colocado el taladro superior derecho de la placa a 48 mm del centro de la planta y a 34° de la línea vertical que une los agujeros donde están las varillas roscadas.

Interfaz

Ésta es la encargada de albergar los pulsadores necesarios para interactuar con el cubo, así como la rueda del volumen, el micrófono y el altavoz. Ésta se realizará con una pieza circular de PVC del mismo tamaño que las anteriores plantas pero de 3mm de grosor. En este caso, a falta de conseguir esa plancha de PVC de tal grosor, se ha limado una más gruesa con la ayuda de la multiherramienta rotativa, hasta conseguir este grosor.

Teniendo en cuenta las medidas de los datasheet de todos los componentes, se ha realizado la plantilla de la Figura 3.17, para colocar los componentes de la interfaz. Para realizar todos los huecos se han utilizado herramientas como cúter, sierra de marquetería y multiherramienta rotativa. En el hueco rectangular, se han hecho dos agujeros roscados en la parte superior e inferior del mismo de tamaño M2 para sujetar el componente que irá encajado en ese hueco. Los demás se sujetarán mediante tuercas, como los pulsadores y el potenciómetro, a presión, como los leds, o con silicona, como el altavoz y el micrófono.

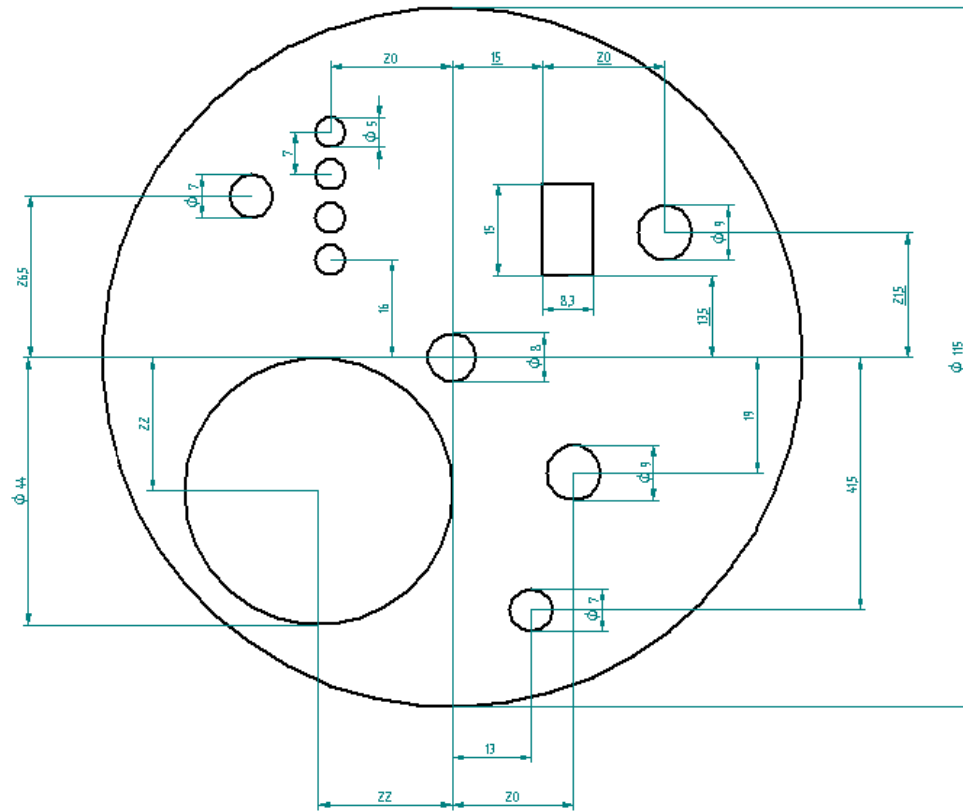


Figura 3. 17: Plantilla de torneado para la interfaz

En el centro de esta pieza se realizará un agujero de 85 mm, ya que por ahí pasa un eje de aluminio.

Al igual que en el resto de las plantas, se realizaron en los extremos 4 roscas M4 para poder unir todas las piezas con las varillas roscadas, pero estas se han hecho con una desviación de 12° a la derecha del eje central de la interfaz. Esto se debe a la forma que tiene la placa que se aloja en la planta 3, lo cual se explicará más adelante.

A la pieza de la interfaz, se le ha añadido una lámina de plástico en la parte superior, con los mismos huecos que ésta. Posteriormente se ha procedido a pintar con un rotulador de pintura (que no de tinta) permanente, toda la superficie de plástico, el borde de la pieza de PVC y el interior del hueco central.

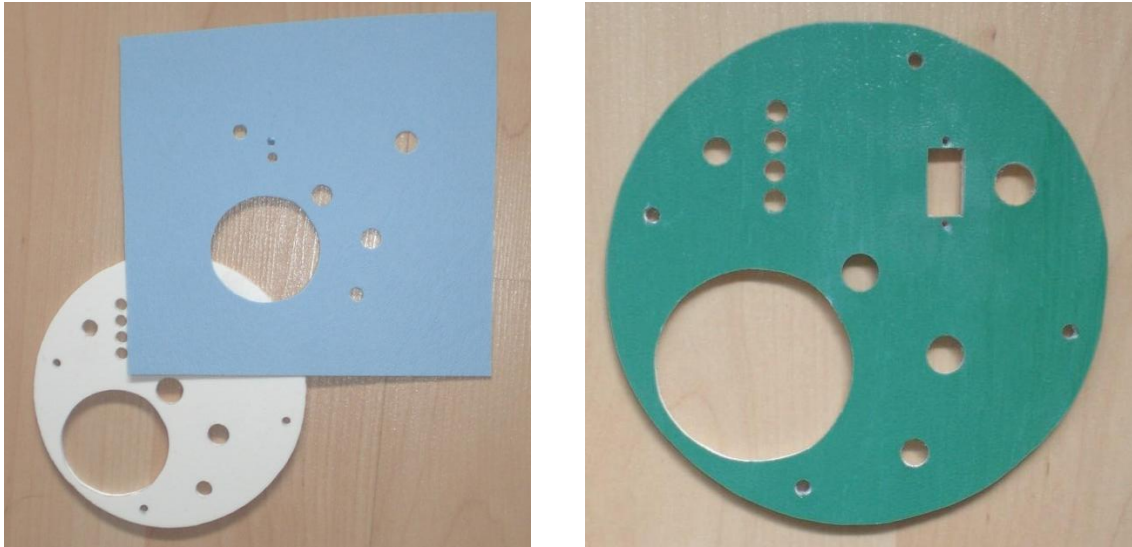


Figura 3. 18: A la izquierda plancha de PVC y lámina de plástico en proceso de plasmar la plantilla. A la derecha, interfaz terminada y pintada.

Para colocar los nombres de la interfaz se ha usado una hoja adhesiva de acetato en la que se ha impreso Figura 3.19 y posteriormente se han practicado los huecos con la misma plantilla usada anteriormente (Figura 3.17).

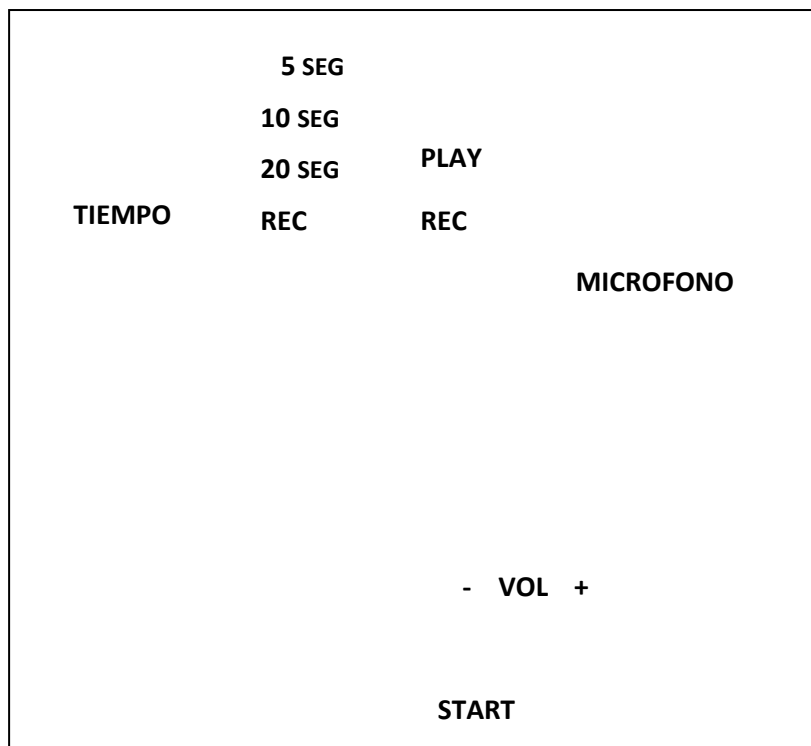


Figura 3. 19: Imagen implantada en la hoja adhesiva para la interfaz

El resultado final de la interfaz es el de la Figura 3.20:

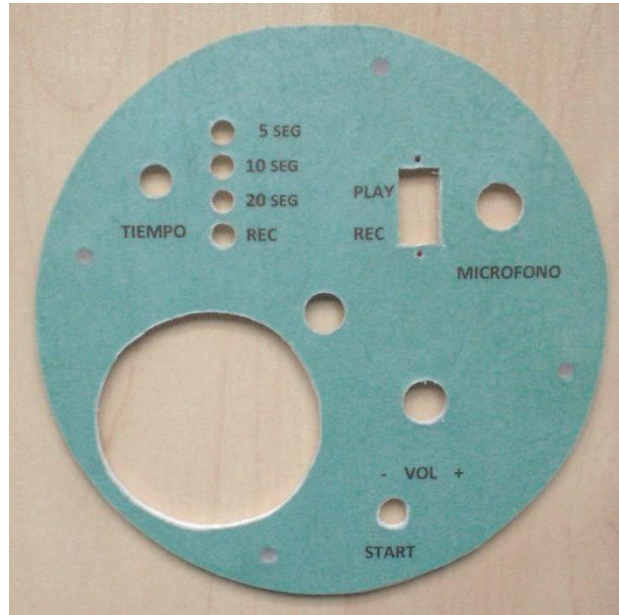


Figura 3. 20: Vista superior de la interfaz terminada

3.1.4. Estructura Móvil

3.1.4.1. Estructura interna

Se compone de cuatro caras laterales de PVC de 10 mm de grosor. Cada cara lateral tiene las siguientes medidas:

13,4 cm x 17,8 cm

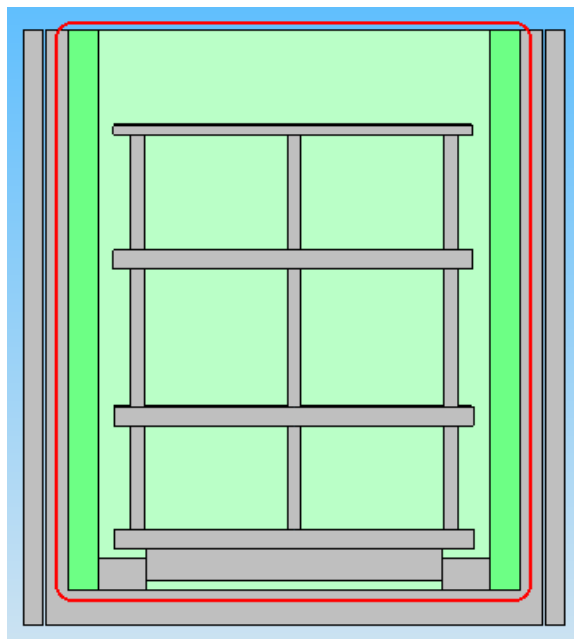


Figura 3. 21: Detalle de la colocación de la estructura interna móvil en el cubo

A cada cara se le ha realizado una serie de taladros para sujetar 5 pulsadores en cada una, cuatro separadores y un tornillo M3. Todo esto se ha realizado con una plantilla para todas las caras (Figura 3.22).

Para los pulsadores se ha tenido en cuenta las cotas ofrecidas por el datasheet de los mismos, así como el grosor del taladro de los pines.

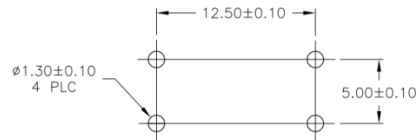


Figura 3. 22: Especificación del datasheet del torneado para la colocación de los pulsadores

De esta forma la plantilla queda distribuida de la siguiente manera, siendo esta simétrica verticalmente (Figura 3.23):

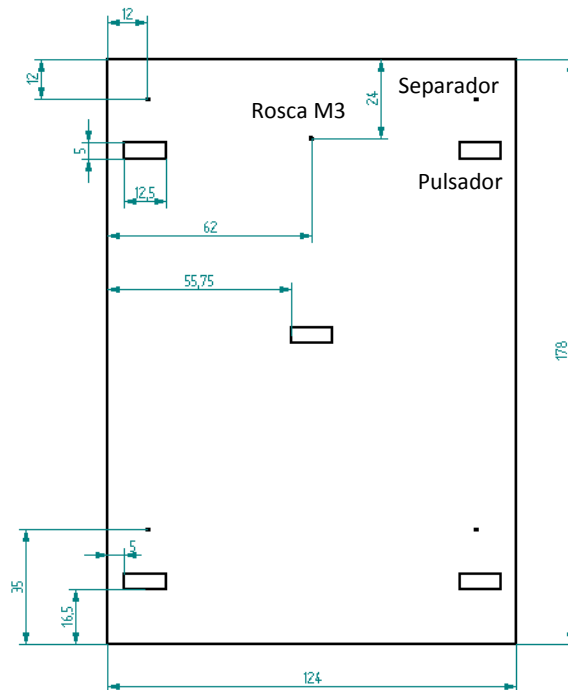


Figura 3. 23: Plantilla para la colocación de pulsadores, separadores y tornillo M3 en cada cara lateral de la estructura interna

Esta plantilla se coloca al ras del borde izquierdo de cada cara, marcando cada punto con un punzón.

Como se puede ver en cada cara hay que realizar diversas labores, detalladas a continuación.

a. Roscado del agujero central

En el agujero central se alojará un tornillo M3x18mm. Para ello se taladrará con una broca de 2,5 mm y posteriormente se le hará manualmente una rosca M3. Este tornillo sujetará en la parte trasera de la cara una escuadra (Figura 3.24), fijándola con una tuerca M3, reservando la parte delantera de la cara para colocar los interruptores.

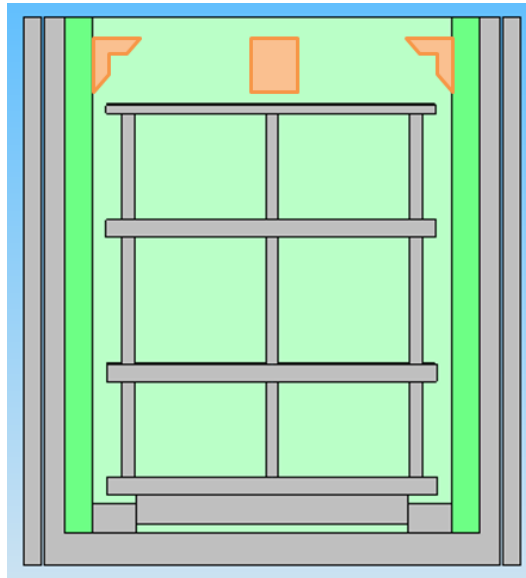


Figura 3. 24: Detalle de la colocación de las escuadras en el interior de la estructura móvil

Las escuadras (Figura 3.25), sujetan un aspa de aluminio que unido a su vez a un eje también de aluminio y sujeto al eje del motor, hará que gire toda la estructura móvil. Esta parte se verá en el apartado siguiente de estructura intermedia.



Figura 3. 25: Escuadra

b. Zócalos

Para realizar los agujeros de los pulsadores (los rectángulos de la plantilla en la Figura 3.23), se ha utilizado una broca de 1,25 mm.

Tras realizar el taladrado para los interruptores se procede a su colocación y conexión. A unos zócalos normales (Figura 3.26), se les ha retirado el recubrimiento aislante negro:

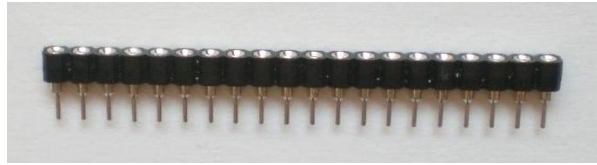


Figura 3. 26: Tira de 20 zócalos

El zócalo se queda como se ve en la Figura 3.23:



Figura 3. 27: Zócalo sin protección aislante

La parte de la derecha (el pin) es lo que conecta con las patillas del pulsador. La parte del medio, un poco más ancha, se encaja a presión en los agujeros que se han hecho para los pulsadores, y la parte de la izquierda que es la parte más ancha de todas, es la que sobresale para que no se cuele el zócalo entero en el agujero (Figura 3.28).

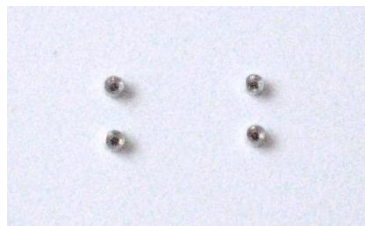


Figura 3. 28: Resultado de la colocación de los zócalos para los pulsadores

Como se puede ver, la conexión en el interior es posible y, gracias a la forma doblada que tienen las patillas de los pulsadores, estos se quedan bien conectados a los pines de los zócalos (Figura 3.29). Además permite el encaje a presión.

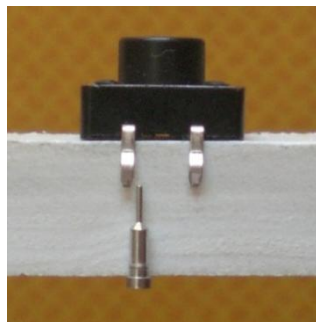


Figura 3. 29: A la izquierda muestra de la conexión interna entre el zócalo y la patilla del pulsador. A la derecha pulsador y forma de sus patillas

El resultado de esta colocación es el mostrado en la Figura 30, por lo que luego se procede a conectar todos los pulsadores.

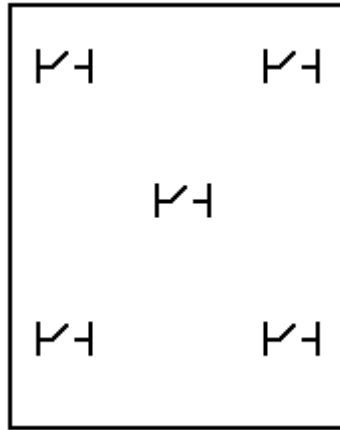


Figura 3. 30: Colocación y estructura interna de los pulsadores

Como se puede ver en la Figura 3.31, basta con colocar los cables en los correspondientes zócalos, quedando todo conectado y anclado sin necesidad de soldar nada, facilitando de esta forma algún posible cambio de un pulsador o zócalo en el futuro.



Figura 3. 31: Conexión en la parte trasera de la cara lateral de los zócalos entre sí

Todos estos pulsadores, van conectados entre sí en paralelo, para que de esta manera, sea cual sea el que se pulse, se cierre el circuito. Para colocar los cables que unen todos los pulsadores se ha seguido la siguiente plantilla (Figura 3.32):

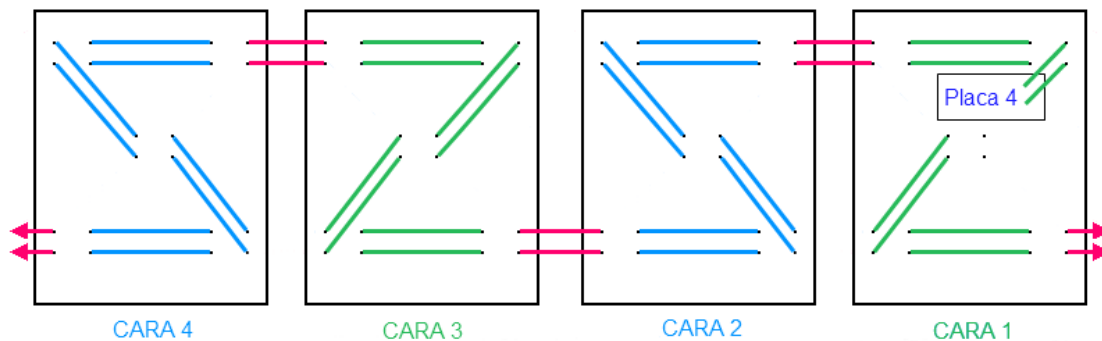


Figura 3. 32: Vista interior de las caras del cubo

Las caras 2 y 4 tienen la misma configuración entre ellas. Las caras 1 y 3 tienen la configuración similar, ya que la 1 conecta dos de sus cables a una de las placas del cubo. Las caras se colocan en sentido antihorario visto desde arriba del cubo. Más adelante se explicará la función de la placa 4.

Para mayor comprensión se adjunta la Figura 3.33 donde se ha señalado la parte externa de la estructura en amarillo que es donde van ubicados los pulsadores. En la parte interna, señalada en naranja, se colocan los zócalos y por consiguiente los cables de conexión.

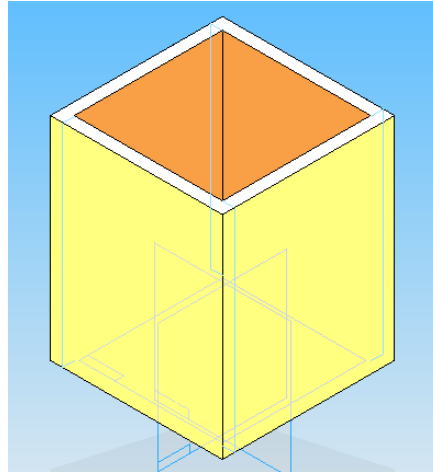


Figura 3. 33: Separación de zonas para la colocación de componentes

c. Separadores

Los agujeros de los separadores (los puntos de los laterales en la Figura 3.23) se realizan con una broca de 7,5 mm.

Los separadores son unos tubos con el interior roscado al que se le une un tornillo. Estos separadores originalmente eran de 3 cm de longitud, por lo que se ha tenido que reducir tanto el tamaño del tubo como el del tornillo que venía con él para conseguir la medida deseada (Figura 3.34), ya que la estructura interna tiene un grosor de 10 mm, la externa de 6mm y el hueco que se deja entre medias de las dos es de 8 mm, por lo tanto se necesita un separador de 24 mm.



Figura 3. 34: Separadores de las caras laterales y tornillos ya cortados

Esta reducción se ha realizado con los accesorios de corte y lijado de la multiherramienta rotativa Dremel 4000.

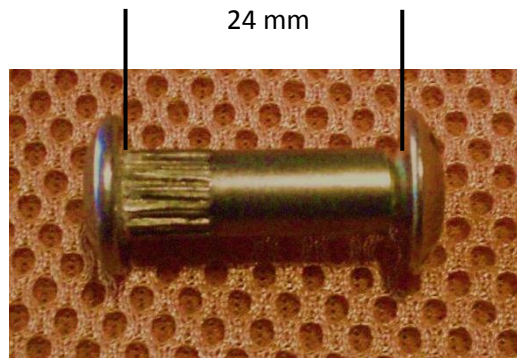


Figura 3. 35: Detalle de uno de los separadores

Como se ve en la Figura 3.35, en la parte izquierda tiene una parte surcada. Esta parte es la fija, es decir, no tiene tornillo, sólo una base, por lo que se fija con adhesivo de contacto a las planchas de PVC. Esto se hará de la parte trasera a la delantera (de la naranja a la amarilla en la Figura 3.33), dejando la base pegada por la parte trasera de la cara y el tubo saliente por la parte delantera.

d. Imanes

Posteriormente, en la estructura externa se verá que hay que poner una tapa en la parte superior del cubo. Para sujetar esta tapa, y teniendo en cuenta que tendrá que tener una fácil apertura y cierre ya que a través de ella se accede a la interfaz del sistema, se han cortado cuatro partes iguales de PVC en las cuales se albergará un imán de neodimio en cada una (Figura 3.36). Las medidas de cada parte son 20x6x6 mm y en el centro de cada una se ha realizado un vaciado circular de 4mm de diámetro y 2 de profundidad donde se ha fijado el imán con adhesivo de contacto.

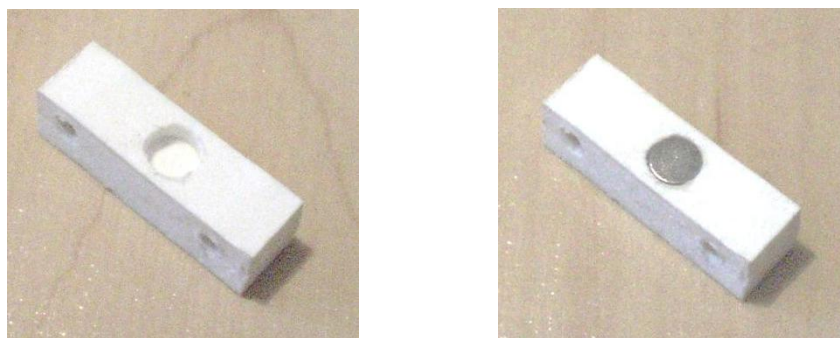


Figura 3. 36: A la izquierda soporte para el imán con el vaciado realizado. A la derecha soporte con el imán incrustado.

Teniendo como referencia el borde izquierdo de la pieza, estas se han colocado a 30 mm del borde izquierdo de cada cara por la parte trasera y a 1,5mm del borde superior (Figura 3.37).

Estas piezas se han anclado a cada cara con dos tirafondos 3x12mm centrándolos en 3 mm con la parte superior y 3 mm con el borde lateral (Figura 3.37).

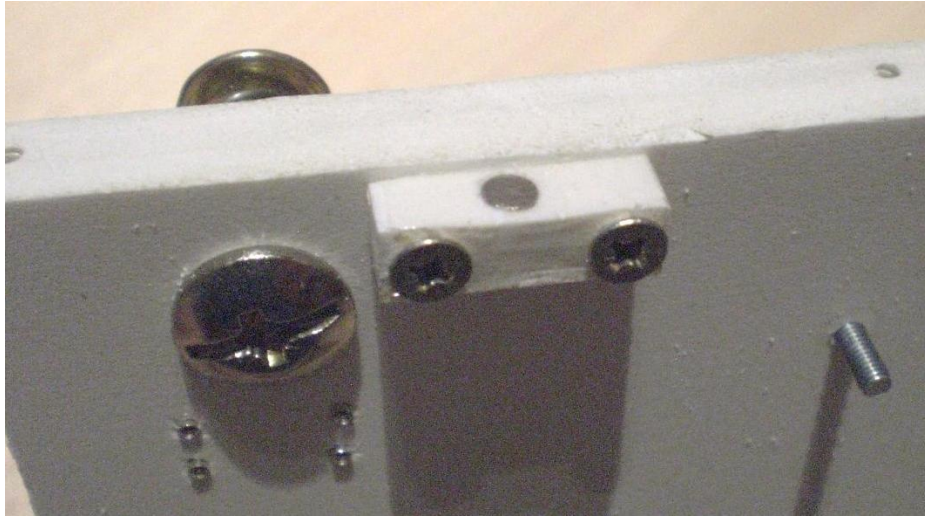


Figura 3. 37: Situación y anclaje del soporte del imán en la parte trasera de la cara lateral

El resultado final de cada cara se observa en la Figura 3.38:

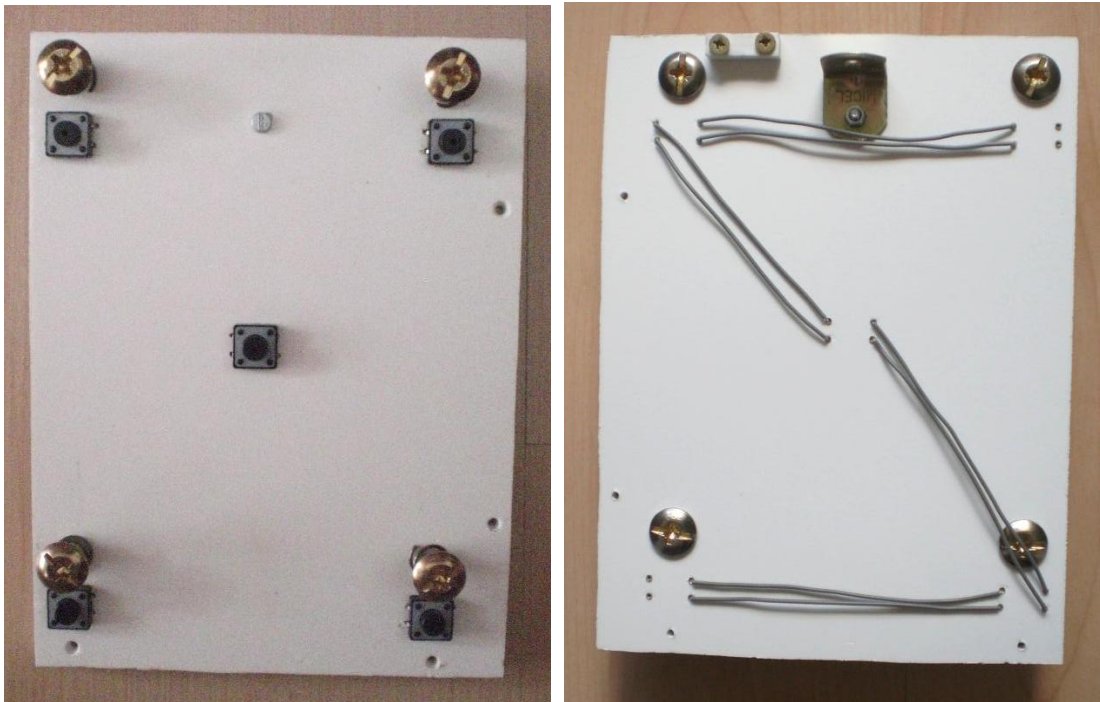


Figura 3. 38: A la izquierda vista exterior del resultado final de la cara lateral interna. A la derecha vista interior de la anterior.

Para fijar entre sí las distintas partes del cubo se han utilizado unos tirafondos de distintos tamaños, para que sea fácilmente desmontable en el caso de que haya que realizar cualquier tipo de reparación. Se usarán unos tirafondos de rosca 4 mm, y debido

a lo compacto que es el PVC, se realizarán unos taladros de 2 mm para ayudar a la inserción de estos.

Las caras se unieron como se indica en la Figura 3.39 y 3.40, mediante unos tirafondos de 4x20mm de longitud. Se fijaron dos en cada lateral como se indica en la Figura 3.38 a 4,5 cm de cada extremo y a 0,5 mm del lateral.

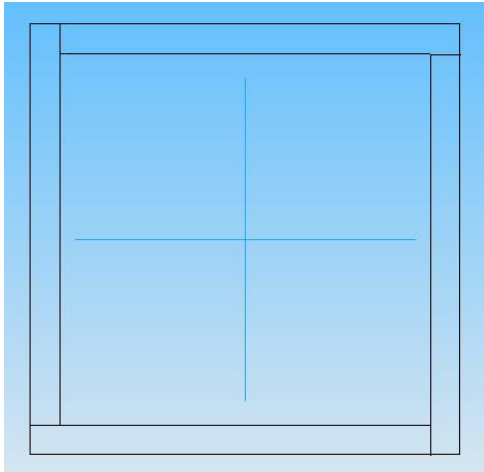


Figura 3.39: Vista inferior de la estructura

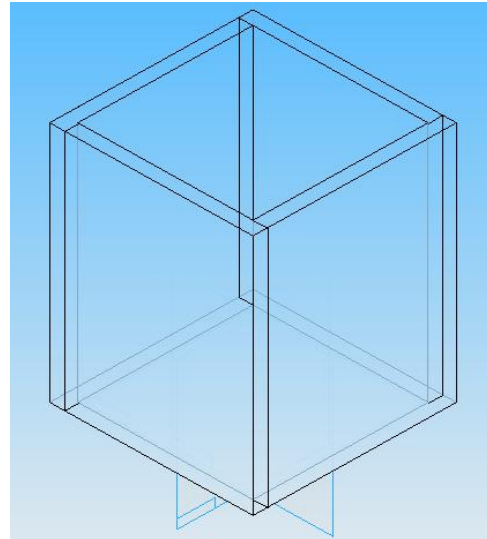


Figura 3.40: Vista isométrica superior de la estructura

Se unió una pieza cuadrada de 12,4 cm de lado con un hueco circular en su interior de 9,4 cm de diámetro (Figura 3.41), fijándose al resto de la estructura al ras del hueco interior que han dejado las cuatro caras (Figura 3.42). El grosor será el mismo que el anterior, 10 mm. Ésta será la base de la estructura móvil:

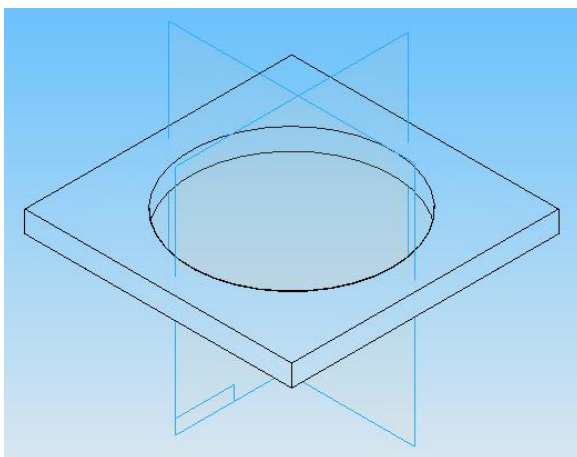


Figura 3.41: Base de la estructura móvil

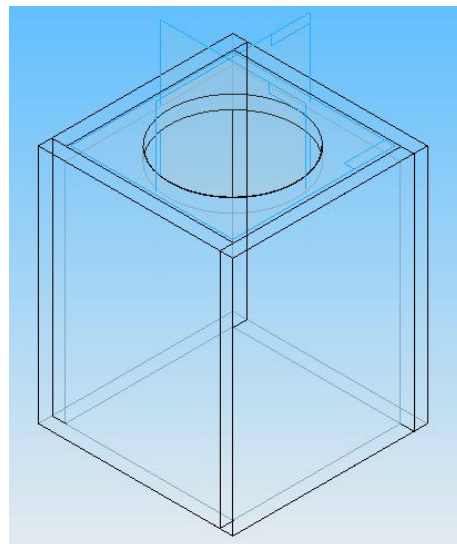


Figura 3.42: Vista isométrica inferior

La unión se ha realizado con unos tirafondos de 4x20mm de longitud, situados a 21,5 mm de los laterales del perímetro exterior que forman las caras laterales.

3.1.4.2. Estructura externa

La estructura externa se compone de PVC, espuma y tela. La espuma y la tela rodean la parte exterior de las caras laterales de PVC y el hueco interior que queda entre ellas (Figura 3.43).

a. Caras laterales

A la estructura interna que consta de cuatro caras, se le unirán cuatro planchas de PVC de 6 mm de espesor y con las dimensiones 15,8 cm x 18,95 cm (Figura 3.43).

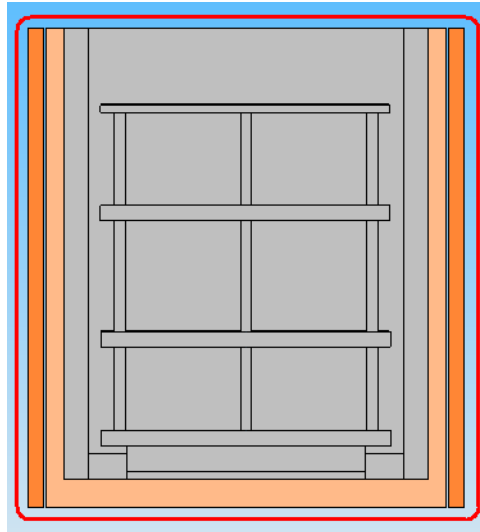


Figura 3. 43: Detalle de la colocación de las caras laterales externas de la parte móvil en el cubo

Con la plantilla que se utilizó anteriormente para la estructura interna (Figura 3.23), se han marcado los puntos en donde se alojan los separadores (puntos laterales). Esta plantilla se colocará a 17 mm de cada lateral y al ras de la parte superior. Una vez marcados estos puntos se ha taladrado con una broca de 7,5mm (Figura 3.44).

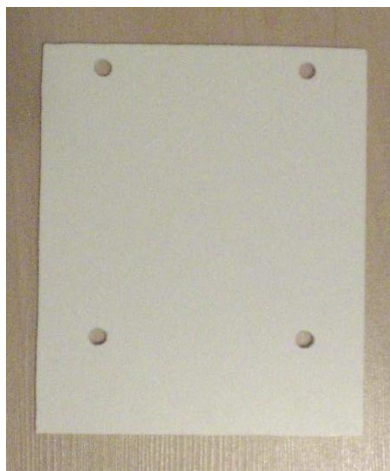


Figura 3. 44: Vista superior de la cara lateral externa

De esta forma la unión en cada cara se hace mediante cuatro separadores dejando un hueco entre medias de 8 milímetros que se mantiene fijado por unos muelles.

Estos muelles se han cortado a medida a partir de una tira de muelle. Cada muelle tiene 2 vueltas y media (Figura 3.45). El material del que están hechos es acero con 1mm de grosor, por lo que se ha procedido a cortarlos con un disco de corte con la multiherramienta rotativa. Gracias a la dureza del material, mantiene bien fijado el hueco interior entre caras y a la vez permite que se pulse los interruptores al golpear la cara y recuperar la posición rápidamente.

En este hueco de 8 milímetros se han anclado 5 pulsadores en cada cara de 7,5 mm de altura, dejando 0,5 mm de holgura (Figura 3.45).

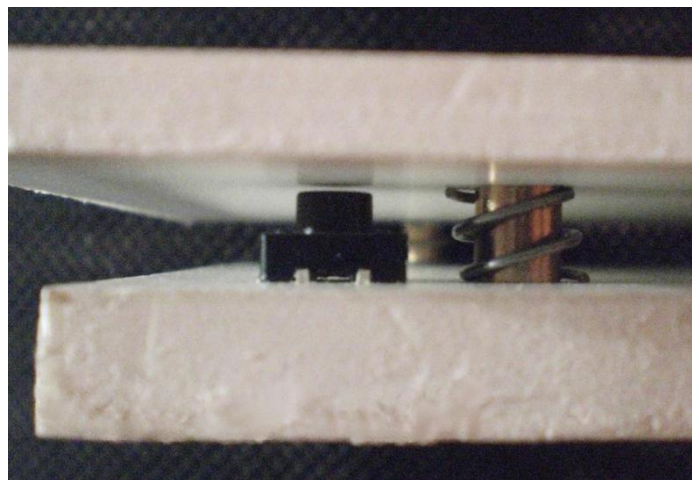


Figura 3. 45: Detalle de la zona intermedia entre la estructura externa e interna

b. Pieza superior

En la parte superior del cubo se ha anclado una pieza cuadrada para tapar el hueco entre las caras interiores y exteriores (Figura 3.46).

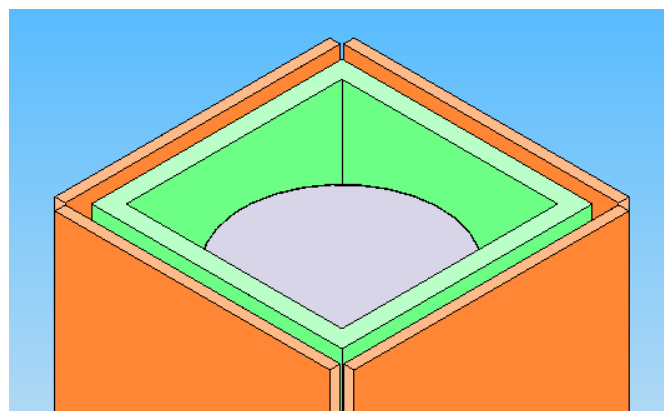


Figura 3. 46: Detalle de la separación entre caras de la parte móvil

Esta pieza (Figura 3.47), tiene las siguientes dimensiones:

-  Lado externo: 171 mm
-  Lado interno: 124 mm
-  Grosor: 6mm

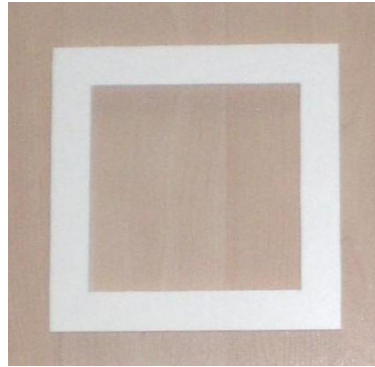


Figura 3. 47: Vista superior de la parte superior de la estructura externa

La medida del cuadrado interior es exactamente el hueco que dejan las caras internas de 100 mm de espesor, y el cuadrado exterior es la medida del perímetro de las caras exteriores.

Para fijar esta pieza, se ha dibujado un cuadrado 5 mm mayor que el cuadrado interior, señalando las esquinas y los puntos medios de cada lado. En estos puntos se colocan unos tirafondos 3x15mm traspasando la pieza y las caras internas del cubo. El resultado final es el de la Figura 3.48.



Figura 3. 48: Estructura montada de PVC de la parte móvil

c. Tapa

A través del hueco que queda en la parte superior del cubo, se accederá a la interfaz del sistema para manipular las distintas funciones del cubo. Esta parte se ha ocultado con una tapa que se sujeta en los salientes donde están colocados los imanes (Figura 3.37).

La tapa es una pieza cuadrada de 117mm de lado. En uno de los lados tiene una apertura para poder coger la tapa cuando sea necesario abrirla. Esta apertura está formada por un rectángulo y un semicírculo. El rectángulo tiene 22mm de ancho y 13mm de largo. El semicírculo, adyacente al rectángulo tiene 22mm de diámetro (Figura 3.49).

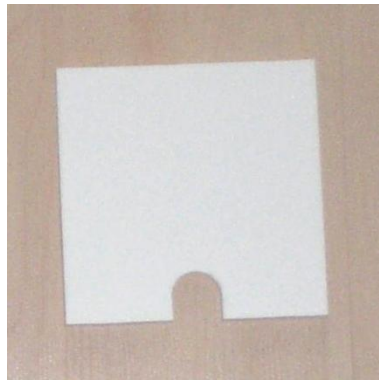


Figura 3. 49: Tapa de la estructura móvil

La medida de la tapa es bastante inferior al hueco que deja la pieza superior debido a que se ha tenido en cuenta el grosor de la tela y cierta holgura para que la tapa pueda entrar y salir fácilmente.

Para que la tapa no se caiga, se pegarán a la tapa a la altura de los salientes donde se ubican los imanes (Figura 3.37), unas láminas de metal. En este caso se ha optado por recortar con la multiherramienta rotativa unas láminas de 18x8mm de hojalata de procedencia bien conocida, por la contemplación de la Figura 3.50.



Figura 3. 50: Sección de una pieza de hojalata

Estas láminas se pegarán a la tapa una vez forrada con la tela, es decir, por fuera, ya que la tela es gruesa, y la lámina estaría más cerca del imán al hacerlo así.

d. Espuma

Para la protección tanto de las paredes del cubo como del propio usuario, se ha puesto en todas las caras unas planchas de espuma de tapicero de 9 mm de grosor. Cada plancha tiene las medidas 180x195,5 mm. El ancho es la medida de la pieza superior más el valor de la espuma, y el largo es el mismo que el de las caras laterales exteriores más el grosor de la pieza superior.

Estas piezas están fijadas mediante pegamento de contacto al borde lateral de 6mm de grosor de la pieza superior. De esta forma si hubiera que reparar cualquier cosa que implique quitar la cara exterior, se podrán desatornillar los separadores sin problemas. La forma de pegar la espuma se hará de forma similar a como se colocan las caras de la estructura interior (Figura 3.51).

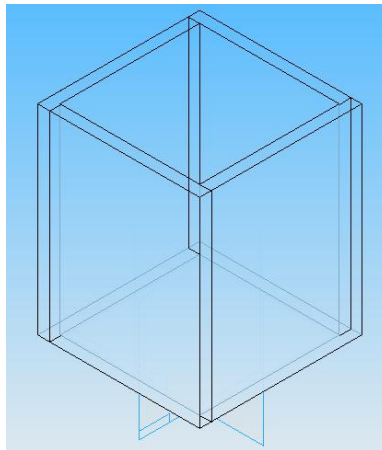


Figura 3. 51: Vista isométrica superior de la colocación de las planchas de espuma

Siendo el resultado el de la Figura 3.52:

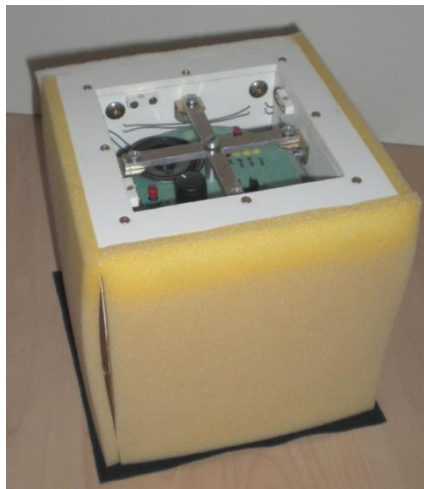


Figura 3. 52: Vista superior del montaje del cubo

Por la parte inferior del cubo, las caras laterales exteriores de 6mm de grosor, son 11,5 mm más largas que la estructura interna (Figura 3.53), por lo que se rellena con espuma de un grosor de 12 mm.

Las medidas de la espuma son 159 mm de lado y un hueco circular en su interior de 94 mm de diámetro (Figura 3.53).

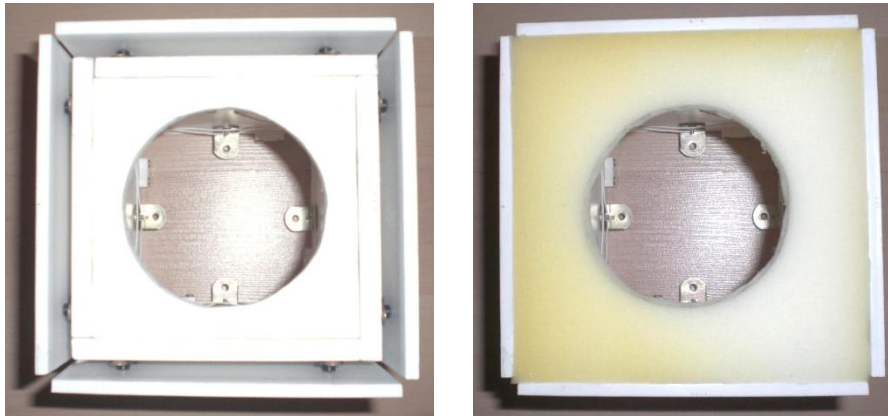


Figura 3. 53: Vista inferior de la estructura móvil. A la izquierda, se aprecia el hueco entre caras laterales. A la derecha espuma tapando el hueco al ras de la cara lateral externa.

e. Tela

Para realizar la funda del cubo se ha utilizado tela de fieltro de color negro a petición de los cuidadores, debido a que este color no desviará la atención del niño que lo esté usando, de la imagen colocada en el centro de la cara. Contar con el usuario final en pequeños detalles del diseño aseguran una satisfacción final, además de entroncar con las premisas del Diseño para Todos.

La ventaja de trabajar con este tipo de tela es que no se deshilacha fácilmente haciendo más sencillo todo el proceso. Las piezas de tela necesarias son las siguientes:

-  7 piezas cuadradas de tela de 21 cm de lado
-  4 piezas rectangulares de 21x 4 cm
-  1 pieza rectangular de 30x3,5 cm

Lo primero que se ha hecho ha sido la parte relativa a la base. A una de las piezas cuadradas se le ha recortado en el centro un círculo de 94 mm de diámetro. A este círculo se le ha cosido perpendicularmente la pieza rectangular de 30x3,5 cm (Figura 3.54).

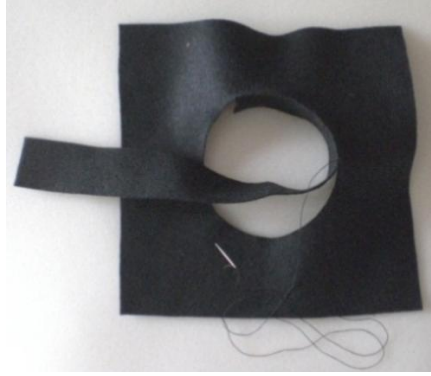


Figura 3. 54: Proceso de costura de la base de la funda

Una vez realizada la base, se han cosido entre sí 4 de las piezas cuadradas, dejando entre pieza y pieza 19 cm (Figura 3.55). La unión entre dos de las piezas se ha realizado con una cremallera de 20 mm cosida al ras de la tela. A la base se le han cosido las cuatro caras laterales, dejando un cuadrado de base de 19 mm de lado.

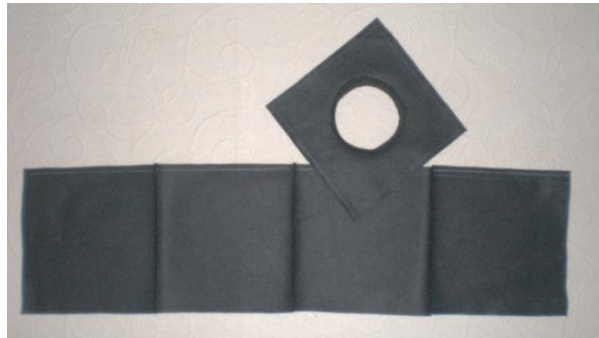


Figura 3. 55: Caras laterales y base de la funda

En la parte superior de esta funda se pegará velcro a lo largo de todo el perímetro. Esto conforma la funda inferior del cubo (Figura 3.56).



Figura 3. 56: Funda inferior con el velcro adherido

Para fijar esta funda, en la parte inferior circular, se han realizado unos cortes de 10 mm cada 35 mm. Posteriormente se colocó la parte circular con la espuma y la pieza de PVC, y estas solapas se doblaron y se graparon con una grapadora industrial (Figura 3.57).



Figura 3. 57: Pieza de PVC inferior del cubo con la funda grapada

Para la parte superior se ha cortado en el centro de una pieza cuadrada, un cuadrado de 10,6 cm de lado. A los laterales de la pieza se ha cosido las piezas rectangulares de 21x4cm (Figura 5.58), y también entre ellas, dejando 19 cm de lado y 3 cm de alto. Esto conforma la funda superior del cubo.

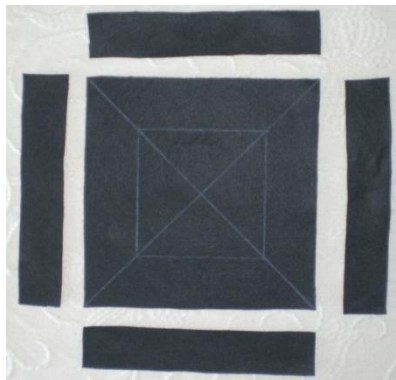


Figura 3. 58: Caras laterales y parte superior de la funda

En la parte baja de los rectángulos se ha cosido un dobladillo y por la parte interna se ha pegado el velcro en todo el diámetro del cuadrado externo (Figura 3.59).



Figura 3. 59: Funda superior con el velcro adherido a la parte inferior

En la diagonal que une el cuadrado interno y el exterior se han hecho unos pequeños cortes de 8,5mm para poder doblar la tela y fijarla con una grapadora a la pieza de PVC superior.



Figura 3. 60: Pieza de PVC y funda superior

Para la tapa del cubo se ha usado la última pieza cuadrada en la que se ha pintado la forma de la tapa en el centro de ella. En las esquinas de la tapa se ha recortado un triángulo rectángulo de 6 mm de lado quitando toda la tela sobrante en la trazada de la hipotenusa del mismo. En la parte central se ha hecho la forma semicircular de la tapa (Figura 3.61).



Figura 3. 61: Tela para recubrir la tapa del cubo

Una vez forrada la tapa, se han colocado a la altura de la posición de los imanes los recortes de hojalata a la tela (Figura 3.62). Esto asegura un buen cierre de la tapa.

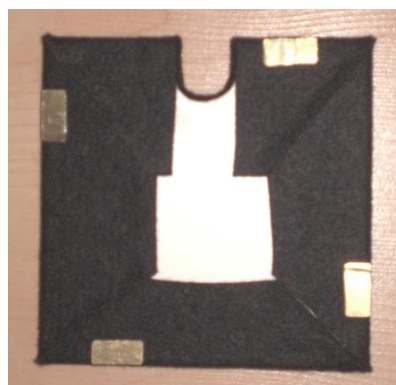
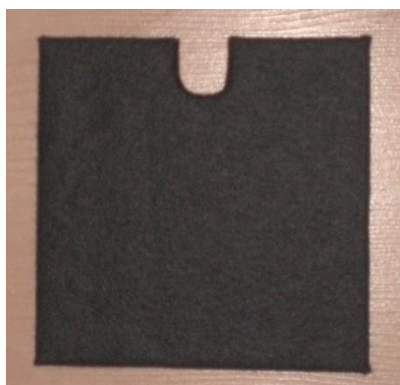


Figura 3. 62: Resultado final de la tapa

Finalmente en la Figura 3.63 se puede ver el resultado final de la construcción de la funda del cubo.



Figura 3. 63: Cubo con la funda

f. Colocación de Pictogramas

Para indicar visualmente las opciones que ofrece el cubo, se han colocado en cada cara lateral una funda transparente para CD (Figura3.64), adherida con velcro. De esta forma, se pueden cambiar los pictogramas fácilmente.



Figura 3. 64: Funda para CD

A las fundas se le han recortado la solapa superior, y pegado a cada lateral una tira de velcro de 12 cm de largo y 2 cm de ancho (Figura 3.65).



Figura 3. 65: Funda recortada y con el velcro adherido

En cada cara del cubo se ha pegado las dos tiras de velcro en las que se sujetarán las fundas, quedando estas centradas en la cara (Figura 3.66).



Figura 3. 66: Resultado final de la funda fijada en la cara lateral

3.1.4.3. Estructura intermedia

Como ya se ha dicho el cubo tiene una parte fija y otra móvil. Las dos partes se unen a través de un tubo unido a un aspa, conformando la estructura intermedia.

Este tubo lo he diseñado expresamente para este proyecto con el programa Solid Edge, y hace la función de la extensión del eje del motor, el cual descansa en la parte fija. Este eje es el mostrado en la Figura 3.67.

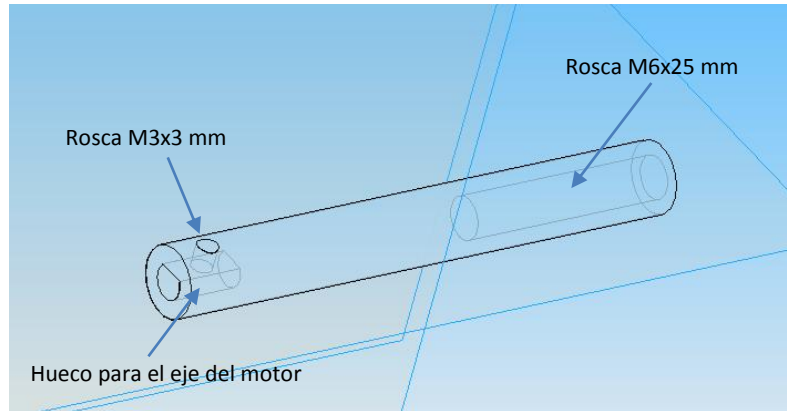


Figura 3. 67: Diseño del eje de aluminio

Con un tornillo M6x 25 mm se unirá el eje con el aspa. El aspa lo he diseñado con el mismo programa, Solid Edge. El resultado es el de la Figura 3.68.

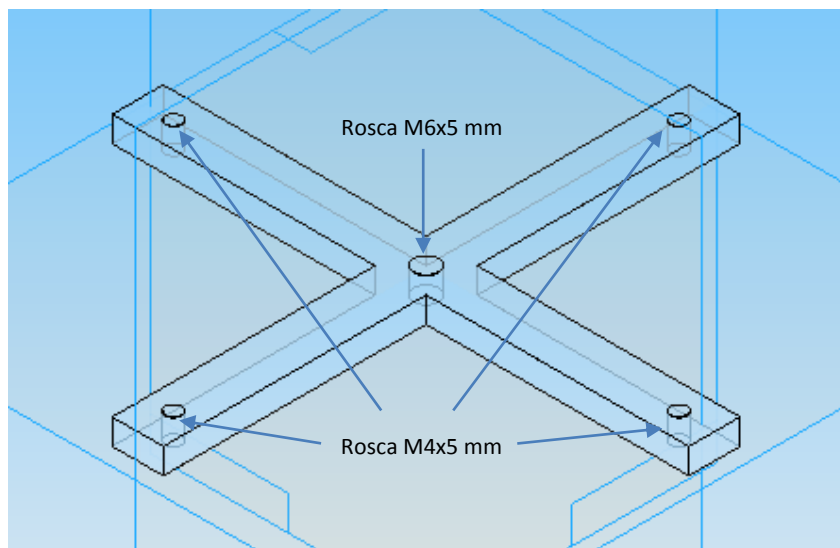


Figura 3. 68: Diseño del aspa de aluminio

Las piezas anteriores se han diseñado y mandado fabricar en aluminio debido a su bajo peso y dureza. Estas se han mandado a una empresa ajena a la universidad, debido que el Servicio de Oficina Técnica de la Universidad encontró diversos problemas en éste y otros diseños anteriores, y no ofreció ninguna solución a la hora de fabricarlas, lo que ha encarecido el coste del producto final por encima de lo esperado.

Para unir el aspa a la parte móvil del cubo, se ha utilizado las escuadras ancladas a la parte interior del cubo, tal y como se ha explicado anteriormente (Figura 3.25), con unos tornillos M4x15mm y unas tuercas M4. El tornillo se recortará hasta dejar la parte roscada a una medida de 11 mm de largo, para evitar choques con la estructura fija.

De esta forma podemos alargar el eje del motor para sujetarlo a la parte móvil.

La pieza del eje se ha unido al eje del motor a través de la abertura que tiene la forma de dicho eje. Para asegurar esta unión, se pondrá un tornillo M3x6mm (Figura 3.67), que hace tope con la parte plana del eje del motor. Tanto el aspecto final de estos anclajes como la estructura eje-aspa unida al motor se muestran en las Figuras 3.69 y 3.70.



Figura 3. 69: Eje, aspa y motor unidos

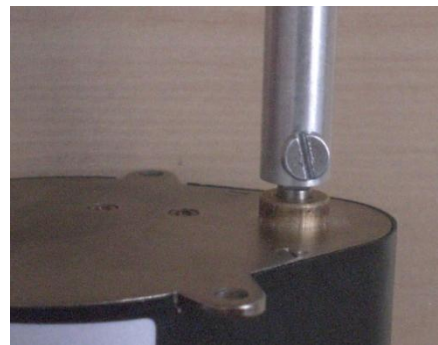


Figura 3. 70: Detalle de la unión del eje con el motor

3.1.5. Sistema de colocación de las piezas

Además de lo explicado anteriormente sobre el ensamblaje de todas las piezas que conforman la estructura del cubo, se han realizado unas marcas, para que si en un futuro se desmontara se pudiera encajar todo de la misma manera.

En la parte fija de la estructura se han marcado unos puntos en la parte inferior del lateral de cada pieza, señalándolo con unos círculos rojos en la Figura 3.71.

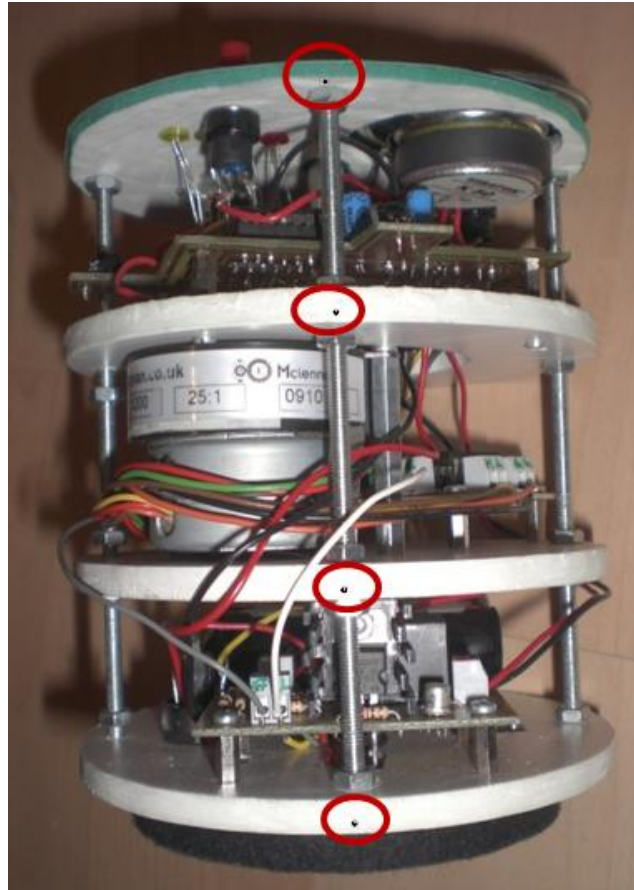


Figura 3. 71: Detalle de las marcas en las plantas para colocar la estructura fija

De esta forma queda distribuido el peso de la forma más equitativa posible ya que el altavoz, el motor y la batería son los que mayor peso tienen y se han colocado a unos 120 grados de separación angular entre sí, eliminando el balanceo que pudiera existir.

Las distancias a las que se coloca una planta de la otra, tomando como referencia, la superficie de la más baja y la parte inferior de la inmediatamente superior, son:

- ✏ 33 mm de la planta 1 a la 2
- ✏ 41 mm de la planta 2 a la 3
- ✏ 36,5 mm de la planta 3 a la interfaz

A pesar de que las plantas tienen los agujeros externos roscados para las varillas M4, se ha puesto en cada cara y en cada varilla una tuerca en la parte superior e inferior de cada una para asegurar la sujeción y controlar la distancia.

Para la parte móvil de la estructura se utiliza un sistema parecido. En cada cara se ha marcado en la parte inferior exterior el número de cara con puntos (Figura 3.72).



Figura 3. 72: Detalle de las marcas para colocar la estructura móvil

Para la parte superior e inferior se ha utilizado el mismo sistema (Figuras 3.73 y 3.74), teniendo en cuenta que la colocación final de las caras será en sentido antihorario visto desde la parte superior del cubo.

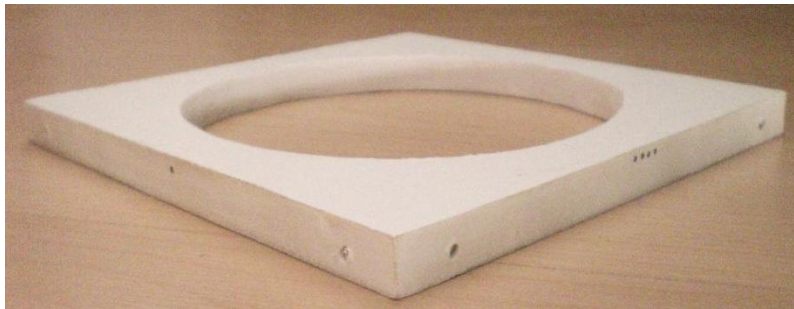


Figura 3. 73: Marcas situadas en los laterales de la base

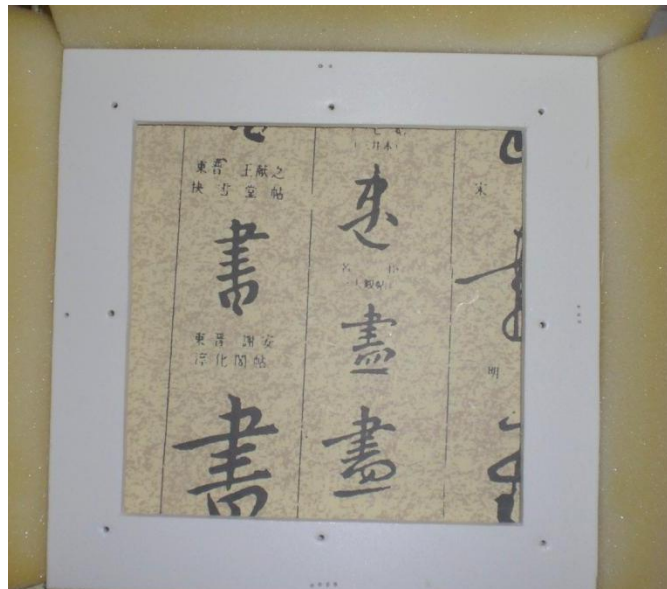


Figura 3. 74: Vista inferior de la pieza superior de la estructura móvil con las marcas de colocación

3.2. Construcción Electrónica

En el capítulo anterior ya se vio la estructura electrónica del cubo a grandes rasgos (Figura 2.14), aquí entraremos en detalle de cada parte del circuito, desglosándolo por las plantas en las que se aloja cada placa.

3.2.1. Planta 1

En esta planta (Figura 3.75), se sitúa la placa 1, que se encargará de convertir la entrada de tensión a 5V para alimentar los demás circuitos. También incluye un circuito para la desconexión del sistema (Figura 3.76).

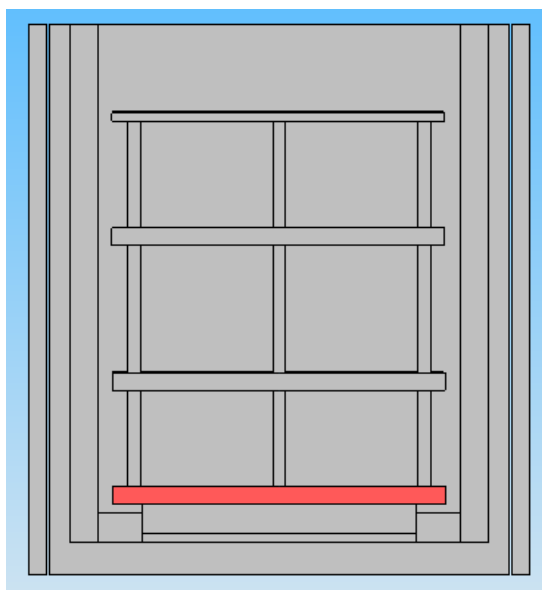


Figura 3. 75: Detalle de la posición de la planta 1 en el cubo

En la parte inferior del cubo están instalados el portafusibles, el conector para cargar la batería, un conector jack para acoplar un pulsador externo, y por supuesto el botón de encendido y apagado del cubo. Todo esto excepto el jack está conectado a la placa de esta planta.

En la Figura 3.76 se detalla el circuito en Orcad separando tres partes del circuito. La zona azul delimita los componentes que se encargan de encender el sistema. En la zona verde se encuentra los componentes que hacen lo contrario, apagar el sistema. En la zona naranja se sitúa el divisor de tensión que comunica a la placa 2 que se ha pulsado el interruptor.

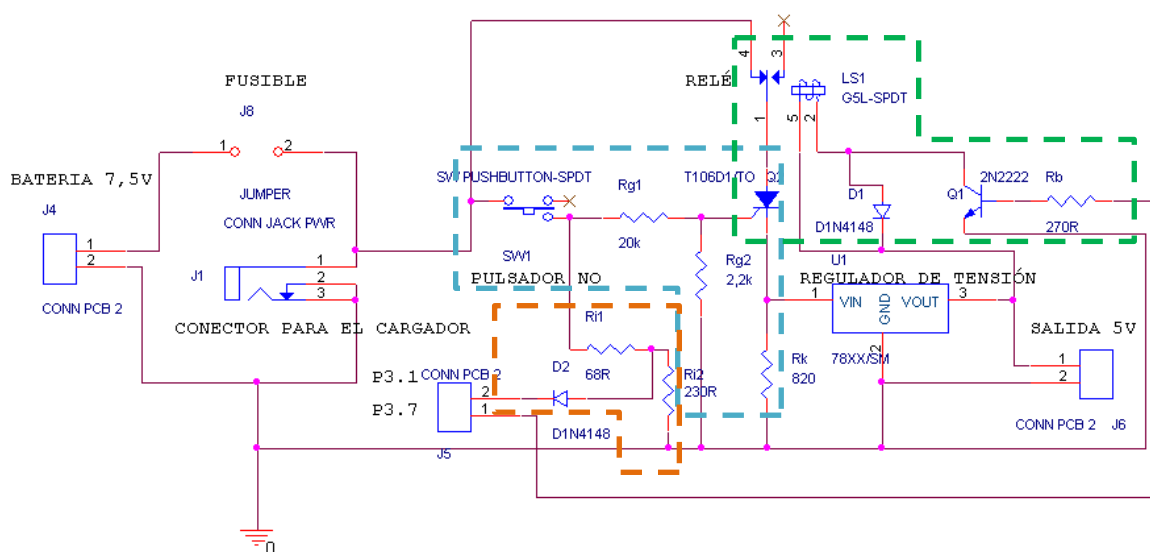


Figura 3. 76: Circuito realizado con Orcad para la placa de la planta 1

COMPONENTES DE LA PLACA

Pulsador: Es con el que se enciende y apaga el cubo, que se puede usar tanto en configuración Normalmente Cerrado como Normalmente Abierto, pero en este caso usaremos la configuración de Normalmente Abierto, para que únicamente haya paso de corriente al pulsarlo. Es un pulsador momentáneo debido a que se quiere realizar un apagado automático para evitar la descarga de la batería en caso de no apagar el sistema.

Portafusible: Alojará un fusible de tamaño estándar (5x20 mm) haciendo la función de protección para toda la circuitería posterior a la batería con un fusible de 1 A, ya que el consumo máximo de corriente son 880mA (como se verá posteriormente), y de los fusibles disponibles más cercanos a esta corriente, se encuentran de 0,8 mA y de 1 A de corriente nominal por lo que se ha elegido el fusible de 1 A.

Conector batería: Es un conector de alimentación de corriente continua, tipo hembra, de 2,1 mm de diámetro del pin central. Con este conector se podrá cargar la batería.

Relé: El relé tiene una configuración SPDT (Figura 3.77), con una tensión nominal de alimentación de la bobina de 5V. En un funcionamiento normal pueden llegar a pasar 5 A para 24 V por los contactos. En esta aplicación habrá un paso de corriente máximo de 880mA (ver Consumo del Sistema; apartado 3.2.4), y 8,2 V por lo que cumple las especificaciones.

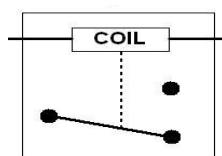


Figura 3. 77: Estructura interna del relé

Tiristor: El tiristor se activa al encender el cubo mediante el pulsador, dejando pasar la corriente que proporciona la batería. El tiristor puede llegar a dejar pasar 5 A en continua. En este caso, el paso de corriente será inferior a 1 A.

Diodo 1: Este diodo se utiliza como protección para que cuando se energice la bobina del relé no se produzca un cortocircuito entre la salida del regulador a 5V y el plano de masa.

Diodo 2: Este diodo se coloca antes de la salida de uno de los bloques terminales (zona naranja en la Figura 3.73). En alguno de los casos los microcontroladores de las placas 2 y 3 se comunican entre ellos en este mismo punto de conexión (bloque terminal) y este diodo hace eso posible, ya que sin él, la corriente que sale de un 8051 la consume la resistencia del divisor de tensión situada antes del diodo, y no le llegaría la señal al otro 8051.

FUNCIONAMIENTO DE CIRCUITO

Al pulsar el botón de encendido se produce una tensión V_g y una corriente i_g mediante un divisor de tensión, que hace que se active el tiristor (zona azul de la Figura 3.76). Una vez activado, la corriente que circula a través del relé pasa por el tiristor y llega al regulador de tensión de 5V.

Por otra parte, hay un circuito que se encarga del apagado del sistema (zona verde de la Figura 3.76). Mediante una señal externa que saturará el transistor 2N2222, se activa la bobina del relé, dejando al tiristor sin flujo de corriente, lo que provoca su apagado, y por tanto la desactivación del sistema.

La batería proporciona unos 7,5V. Al pulsar el botón de encendido, aparte de producir una corriente i_g , se dan 5V en la salida de un divisor de tensión, la cual se comunica con el pin P3.1 del 8051 alojado en la placa de la planta 2 para saber cuándo se pulsa o no el mencionado interruptor.

CONEXIONES PLANTA 1

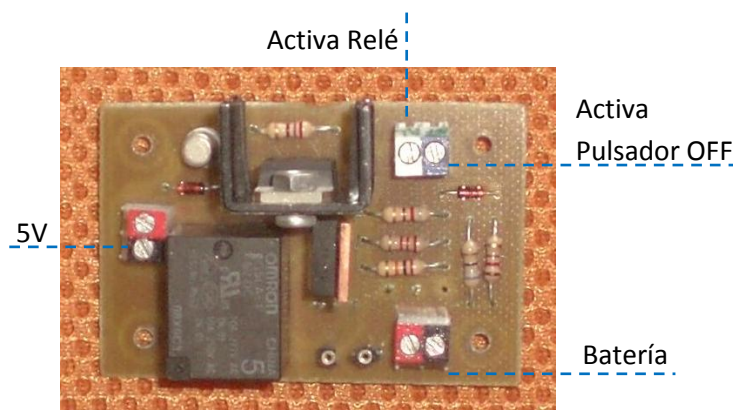


Figura 3. 78: Vista superior de la placa 1 (placa de alimentación)

El bloque terminal de la parte inferior será donde se conecte la batería. En el de la izquierda se conectarán los cables que suministrarán a las otras placas de la alimentación de 5V (Figura 3.78).

En el bloque superior, la vía izquierda será donde se conecte la salida de la placa 2, la señal que pondrá en corte el transistor para energizar la bobina y apagar el sistema. La vía derecha es la salida del divisor de tensión de 5V, que comunicará a la placa 2 que se ha pulsado el pulsador de apagado (Figura 3.78).

De los componentes citados anteriormente, todos se encuentran soldados en la placa, excepto los que se han fijado en la base del cubo, que van conectados a la placa con unos cables insertados en los zócalos correspondientes. En la Figura 3.79 se muestra la colocación en estos componentes. Para el interruptor y el conector de la batería se han soldado los zócalos mirando hacia abajo, para facilitar el acceso en la conexión.

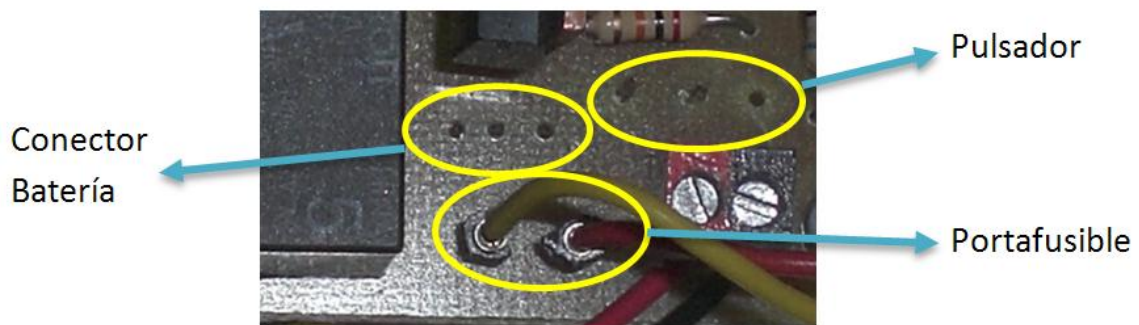


Figura 3. 79: Detalle de situación de componentes de la placa 1 (placa de alimentación)

BATERÍA

En esta planta, además de ir anclada la placa mencionada, también está colocada la batería (Figura 3.80).

La batería elegida de 7,5V es de Iones de Litio ya que tiene un elevado tiempo de vida. Acumulan mucha mayor carga por unidad de peso y volumen que otro tipo de baterías como las de níquel. Sin duda la mayor ventaja es que la batería es recargable. La batería proporciona 7,5V y 2,2Ah (ver Consumo del Sistema; apartado 3.2.4).

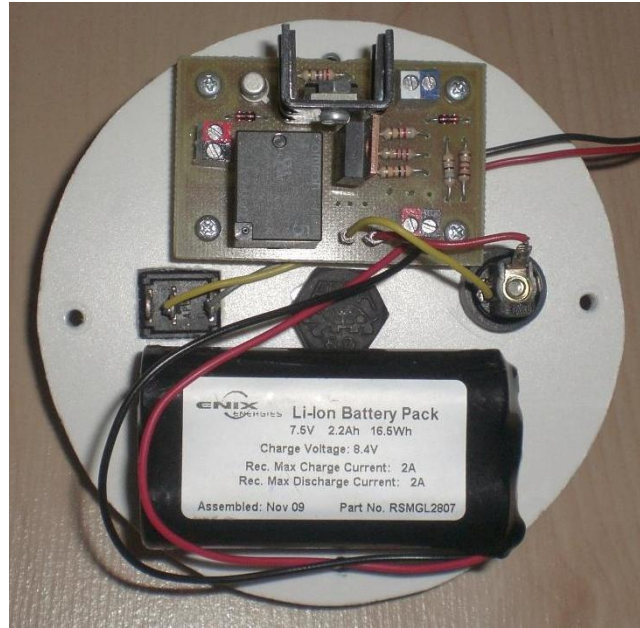


Figura 3. 80: Vista superior de la Planta 1

La batería se ha fijado a la planta 1 con cinta de fijación de alta resistencia con capacidad para pegarla de manera fácil y poder retirarla, cuantas veces se requiera. Es una cinta de fijación de "quita y pon" tipo velcro y más resistente (Figura 3.81).

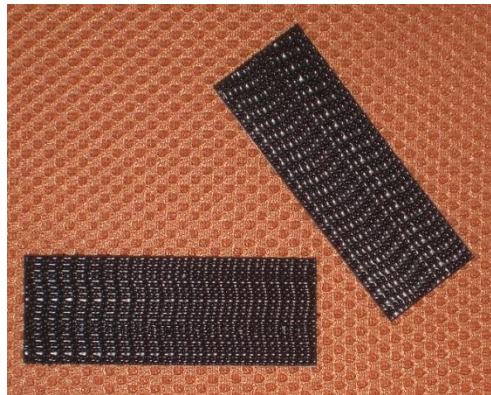


Figura 3. 81: Cinta de fijación

Como se ha dicho antes, la batería es recargable, por lo que se ha elegido el siguiente cargador Mascot 2240 (Figura 3.82), teniendo en cuenta la capacidad de la batería. El cargador se conecta a la red eléctrica y proporciona 8,4V y 1,1 A de continua. Dispone de un indicador led para saber en qué estado de carga se encuentra la batería.



Figura 3. 82: Cargador de la batería

El proceso de carga se muestra en la Figura 3.83:

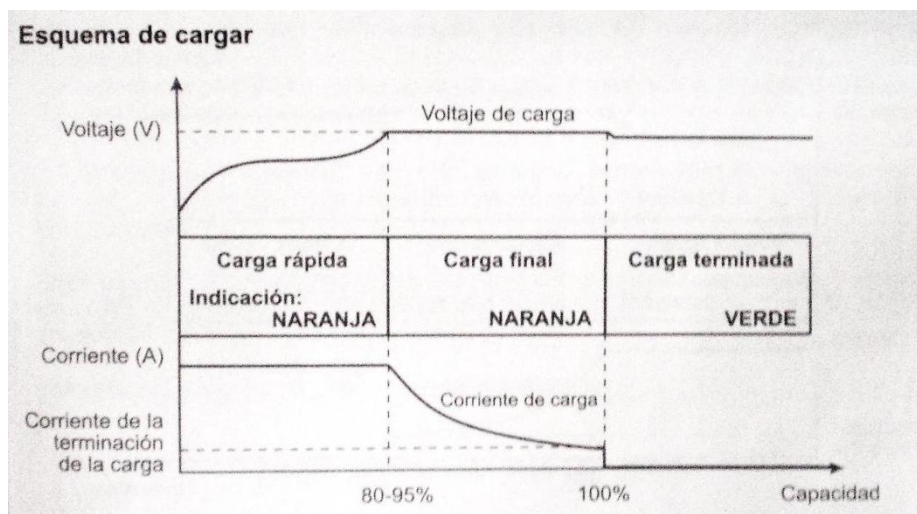


Figura 3. 83: Relación entre el voltaje y amperaje de carga con la capacidad de la batería

3.2.2. Planta 2

En esta planta (Figura 3.84), se aloja el motor que girará el cubo y la placa que controla dicho motor. Esta placa se encarga además de detectar si se ha pulsado el botón de encendido y apagado del cubo.

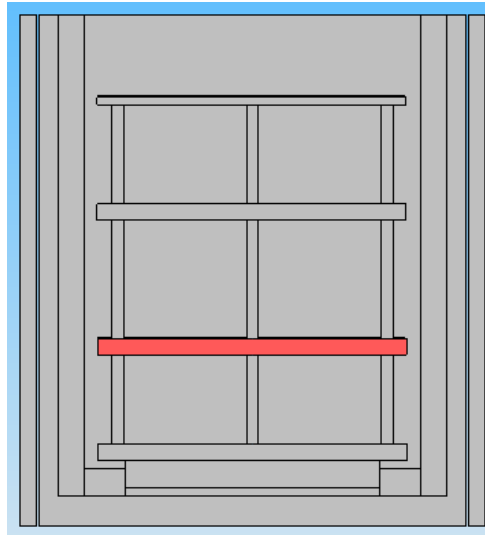


Figura 3. 84: Detalle de la posición de la planta 2 en el cubo

Es un microcontrolador 8051 el que activa la secuencia que permite girar al motor. Esta secuencia se activa cada vez que le llega un pulso a la interrupción INT0 proveniente de la placa 3, la cual decide cuando gira el motor (Motor ON en Figura 3.85). Los pines del puerto de salida llevan conectados unas resistencias de pull-up (R1-R4 en la Figura 3.85), y unos diodos de protección (D1-D4 en la Figura 3.85), para el driver de potencia ULN2064, ya que sin estos diodos, la corriente pasaba al microcontrolador recalentando este, y provocando un mal funcionamiento en el circuito.

En su patilla P3.0 se detectará si hay 5V en el divisor de tensión de la planta 1 (Switch OFF en Figura 3.85), es decir, se detectará si se quiere apagar el cubo, pero esto solo se realiza mientras el motor no esté girando y 4 segundos después del encendido del sistema. Si se apagara mientras gira el cubo, no se podría detectar la pulsación de las caras laterales correctamente ya que se descentraría la colocación de la parte fija con respecto a la móvil. También esta patilla detecta si se quiere apagar el cubo con una señal que proviene de la placa 3, que pasado un tiempo de inactividad del cubo, se procede a mandar esta señal para apagar el cubo automáticamente.

Finalmente, cuando se detecta por alguna de las dos vías dichas antes que se quiere apagar el sistema, en la patilla P3.7 (Señal OFF en Figura 3.85), se pone a nivel alto para activar el circuito de desconexión de la placa 1 (satura el transistor y activa el relé en la zona verde de la Figura 3.76). A la salida de la patilla P3.7, se ha colocado un filtro paso bajo (R7 y C3 en Figura 3.85), ya que al encender el sistema, todas las salidas del micro se ponen a nivel alto, lo que provoca un encendido y apagado consecutivo. Al tener este filtro, retarda la llegada de tensión a la placa 1 y se evita este problema.

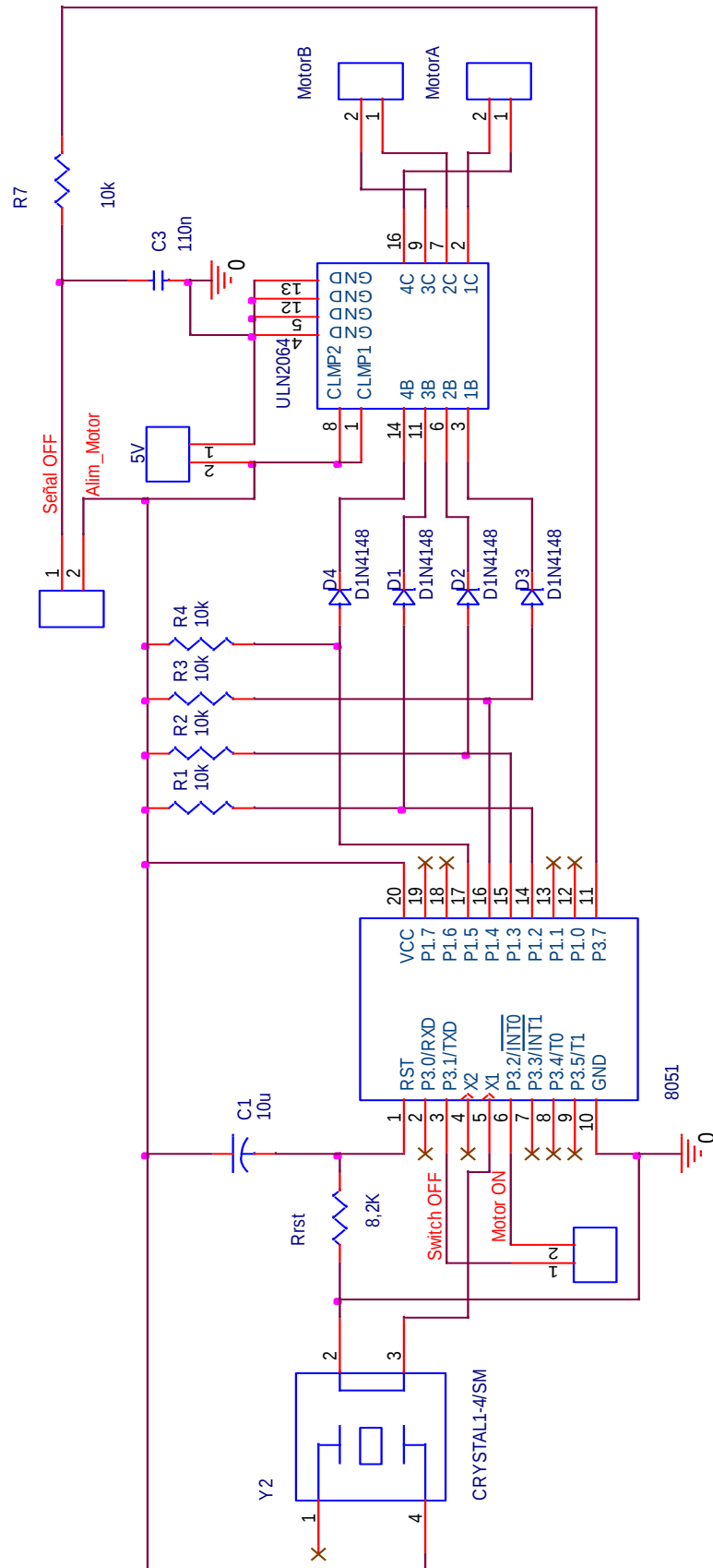
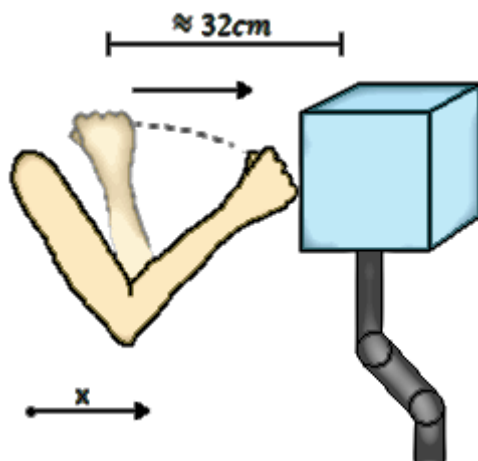


Figura 3. 85: Circuito realizado con Orcad para la placa de la planta 2

COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO**Motor**

Para elegir el motor adecuado, he realizado un simple cálculo aproximado para saber qué par motor se necesita para que el cubo gire, y una vez que esté parado, lo retenga sobre su eje cuando Ismael lo golpee.

Los datos sobre los que se ha basado el cálculo son: el peso del brazo = 3 kg; la distancia del brazo al cubo = 32 cm; lado del cubo = 20 cm; tiempo aproximado en el que se golpea al cubo = 1 s (Figura 3.86).



No es un MRUA ya que $V_0 = 0 \text{ m/s} \Rightarrow$ La
aceleración en $x = 32 \text{ cm}$ es:

La fuerza aplicada con el brazo en el cubo sería:

Figura 3. 86: Representación de golpear el cubo

Al golpear el cubo, dependiendo de en qué parte y con qué dirección, éste no se mantendría fijo y giraría sobre su propio eje. Este efecto hay que cancelarlo eligiendo un motor con un par de retención que soporte la fuerza con la que se golpearía el cubo. El momento de una fuerza con respecto a un eje da a conocer en qué medida existe capacidad en una fuerza para causar la rotación del cuerpo alrededor del eje.

Según el cubo ya existente en el colegio San Rafael, se acordó con los cuidadores realizar un cubo de unos 19 cm de lado. Teniendo en cuenta este dato, el radio desde el eje del cubo (eje del motor), a la arista de este, son 13,43 cm (la mitad de un diámetro).

El peor de los casos acontecería al golpear el cubo en la arista del mismo, y con cierta inclinación. Como aproximación razonable se ha realizado el cálculo con 45° con respecto a la cara del cubo (Figura 3.87), ya que de esta forma se obtiene el momento de fuerza máximo (Figura 3.88).

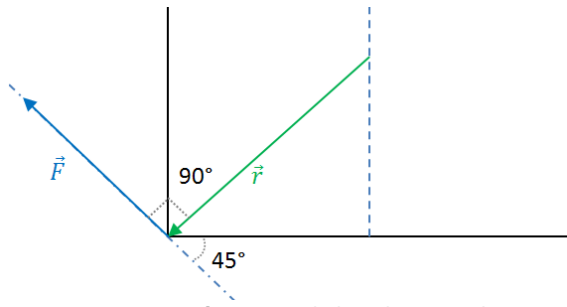


Figura 3. 87: Vector fuerza en el plano horizontal

El lado del cubo son 19 cm, por tanto el radio del cubo es: _____

El momento de una fuerza es [10]:

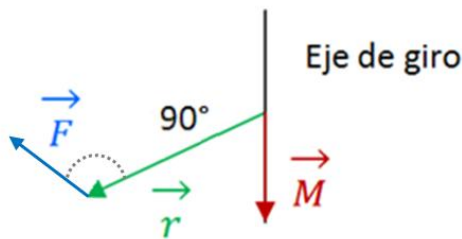


Figura 3. 88: Relación entre fuerza y momento

Se necesita un motor que tenga el suficiente par de retención para que el cubo se mantenga quieto cuando Ismael lo golpee. Los motores que mayor par de retención tienen son los motores paso a paso, y son los que mejor se pueden controlar para cuando se necesite que el cubo gire solo 90° para cambiar de cara.

Por otra parte, el motor tiene que mover la estructura móvil del cubo, que tiene un peso aproximado de 1 Kg. Para calcular el par necesario consideramos de forma ideal una masa unida a un eje una distancia “d = r” de tal forma que la masa gira sobre el eje (Figura 3.89). Por tanto lo primero que se necesita saber es la velocidad de giro.

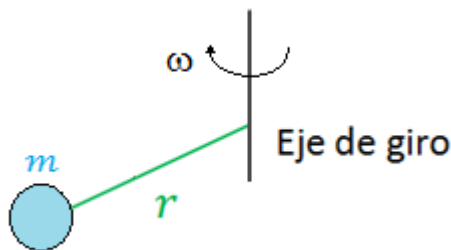


Figura 3. 89: Representación del giro angular de una masa “m” a una distancia “r” del eje de giro

El cubo se moverá en tramos de 90° y en cada tramo tardará 4 segundos, por lo que podemos decir que su velocidad angular es:

$$\omega = \frac{\frac{\pi}{2} \text{ rad}}{4 \text{ seg}} = \frac{\pi}{8} \text{ rad/s}$$

La relación entre la velocidad lineal y la angular es:

$$v = \omega \cdot r \rightarrow a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{\omega^2 \cdot r^2}{r} = \omega^2 \cdot r$$

El modulo del par mínimo que tendría que tener el motor es:

$$T = F \cdot d = m \cdot a \cdot d = m \cdot \omega^2 \cdot r^2$$

$$T = 1 \text{ Kg} \cdot \frac{\pi^2}{8} \cdot 13,43^2 = 27,81 \text{ Ncm}$$

El par motor debería de ser mayor o igual que: $T=27,81 \text{ Ncm}$.

El motor elegido para la aplicación tiene un par típico de trabajo de 32,5 Ncm y un par máximo de trabajo de 73,1 Ncm, por lo que ha de poder con el peso del cubo, y por tanto también con el momento de la fuerza de golpear el cubo.

Se trata de un motor paso a paso alimentado a 5V, con un ángulo de paso $7,5^\circ$ y con una caja reductora incluida de 25:1, por lo que en total el motor con la caja consta de 1200 pasos por vuelta (Figura 3.90).

- Par de retención = 100 Ncm
- Par máximo de trabajo = 73,1 Ncm
- Par típico de trabajo = 32,5 Ncm



Figura 3. 90: Motor Paso a Paso

Fabricante: McLennan Servo Supplies
Referencia del Fabricante: P542-M481U-G11L82

Control del motor

a. Microcontrolador

El 8051 va a ser el encargado de generar los pulsos necesarios para ir moviendo el motor de 90° en 90° .

El 8051 es un microcontrolador fácil de usar (se ha usado en la titulación por parte de la autora, lo que reduce considerablemente en los costes el tiempo de diseño), y para la aplicación que va a realizar tiene memoria y velocidad suficiente. Podría encontrar PICs más rápidos, pero tampoco es necesario y además salen más caros. Otra solución sería usar una FPGA pero para la aplicación sería sobredimensionar el control digital.

El dispositivo elegido es de Atmel:

- Microcontroller 8051, 2K Flash, 24MHz: AT89C2051-24PU (Atmel)

Tiene una frecuencia máxima de funcionamiento de 24 MHz, por lo que se ha elegido el siguiente oscilador de cristal:

- Crystal oscillator, SPX0019082 24MHz: SPX0019082(IQD)

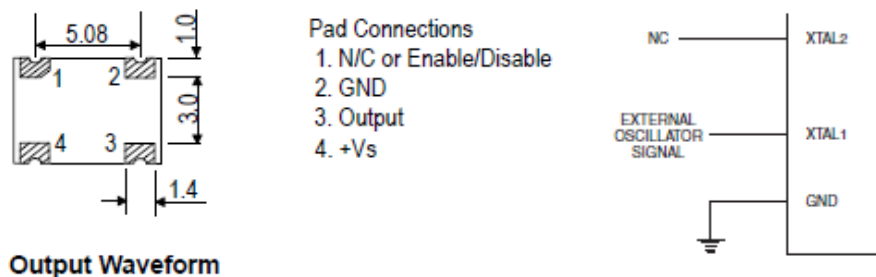


Figura 3. 91: Detalle sobre la conexión del oscilador al microcontrolador

La conexión de la salida del oscilador se hará como dice el datasheet del 8051, conectándose a la patilla XTAL1 y dejando sin conectar XTAL2 (Figura 3.91).

Circuito de reset

Para un correcto funcionamiento del microcontrolador se conectará a la patilla Reset el siguiente circuito de la Figura 3.92.

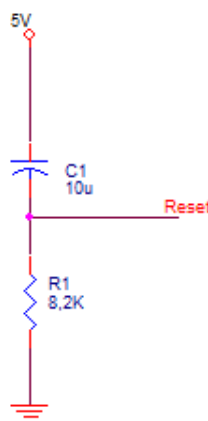


Figura 3. 92: Detalle del circuito de reset en Orcad

El 8051 se programará para que mande pulsos a 4 salidas del puerto 0 (P2-P5 en la Figura 3.85), de tal forma que se consiga una secuencia que haga girar el motor 90°. Estas salidas se conectarán a un interfaz de potencia (Figura 3.93).

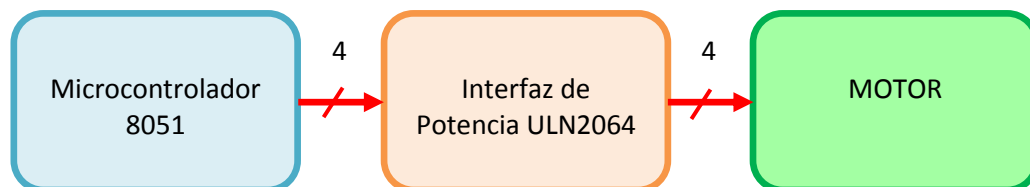


Figura 3. 93: Diagrama de bloques del funcionamiento para activar el motor

Llevarán conectadas resistencias de pull-up a pesar de que ya las tienen internamente. Se comprobó experimentalmente que al conectar el microcontrolador al driver de potencia, las salidas no pueden entregar la corriente suficiente para activar el motor, por lo que hay que añadirlas.

Configuración del micro [11]

Patillas P1.5-P1.2: Serán las encargadas de ir mandando pulsos al driver de potencia para ir cambiando el paso del motor y conseguir que gire.

Patilla P3.1: Al activar el pulsador de encendido/apagado del cubo, esta patilla detectará unos 5V y activará el apagado del sistema. Al encender el cubo se producirá un retardo por programa para que no detecte nada en esta patilla y no se produzca un encendido y apagado casi al mismo tiempo. Mientras el cubo esté girando, tampoco se hará caso al valor de esta patilla para evitar dejar al cubo en medio de un giro.

Patilla P3.7: Cuando se detecte un cambio en la patilla P3.1 de 0 a 5V, esta patilla se pondrá a '1' para activar el apagado del cubo. Si en ese momento el cubo está girando no se apagará. Debido a que al encender el sistema se ponen todas las salidas a nivel alto, se ha puesto un filtro paso bajo para que en el inicio no se encienda y apague el sistema casi al mismo tiempo.

TIMER_0: Configurado en modo 1 como temporizador de 16 bits con autorrecarga de 13,33 ms. Cada vez que el TIMER_0 se desborde, se pasará al siguiente paso del motor realizando de esta forma el giro. Una vez que haya girado 300 pasos dejará de contar, esperando a que se vuelva a activar. Esto proporcionará un giro de 90°, ya que en total una vuelta tiene 1200 pasos, y durará 4 segundos, de ahí que la autorrecarga sea de $4/300=13,33$ ms.

TIMER_1: Configurado en modo 1 como temporizador de 16 bits con autorrecarga de 13,33 ms cada vez. Empezará a contar nada más empezar el programa para evitar que

al encenderse el cubo se apague al mismo tiempo, bloqueando durante 4 segundos el apagado automático.

INT_0: Configurado para que detecte nivel 0 de la señal de la placa 3 (patilla P3.7 del AT89C4051 alojado en esa placa). Cuando esto sucede, activa el TIMER_0 para que empiece a contar y el motor comience a girar.

b. Interfaz de Potencia

El interfaz de potencia utilizado es el ULN2064, que hará que el motor tenga una alimentación acorde a la potencia que consume.

- ULN2064B (STMicroelectronics)

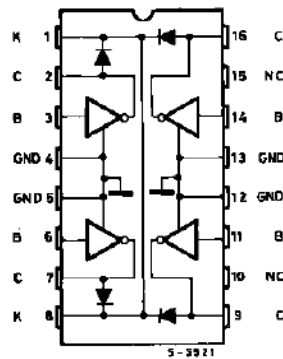


Figura 3. 94: Estructura interna del ULN2064

Como ya se ha dicho, el 8051 se conectará a las bases de los transistores Darlington concentrados en el ULN2064. En los colectores encontraremos una corriente amplificada suficiente para energizar las bobinas del motor. Estos colectores se conectan directamente a las bobinas del motor (Figura 3.94). El resto de los pines del ULN2064 son los pines “K” que irán conectados a la alimentación, los pines “GND” a masa y “NC” no se conectarán.

c. Motor

El motor es un motor unipolar paso a paso. Tiene dos bobinas en cada eje del estator, que están unidas por extremos opuestos, de tal modo que al ser alimentada una u otra, generan cada una un campo magnético inverso al de la otra (Figura 3.95). Nunca se energizan juntas.

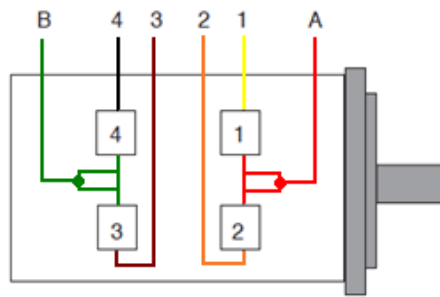


Figura 3. 95: Estructura interna del motor y código de colores de los cables

El motor se alimenta a 5V por los puntos A y B como se muestra en la Figura 3.95. Para controlar el movimiento del eje del motor se energizarán las bobinas 1, 2, 3 y 4 mediante los pulsos que proporcionará el microcontrolador 8051 con una corriente amplificada por el dispositivo de potencia ULN2064. Para ello se utilizará la “secuencia normal”. Con esta secuencia el motor avanza un paso cada vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto par de paso y de retención. [3]

PASO	BOBINA 1	BOBINA 3	BOBINA 2	BOBINA 4
1	1	1	0	0
2	1	0	0	1
3	0	0	1	1
4	0	1	1	0

Tabla 3: Secuencia de pasos del motor paso a paso

Del paso 4 se volverá a pasar al paso 1. El microcontrolador conmutará de un paso a otro cada vez que se desborde el TIMER_0. En este caso, se necesita que el motor se mueva 90 grados en cada activación. Teniendo en cuenta que el motor junto con la caja reductora necesita 1200 pasos por vuelta completa, se necesitan 300 pasos para girar un cuarto de vuelta o 90 grados.

Como se ha explicado anteriormente el TIMER_0 cuenta 13,33 ms cada vez. Al necesitar 300 pasos para que gire 90 grados, el cubo tardará 4 segundos en completar el giro.

Todo lo dicho anteriormente es la explicación del funcionamiento de la placa que se aloja en esta planta.

CONEXIONES PLANTA 2

En los bloques terminales de la derecha (Figura 3.96), se alojarán los cables de las bobinas del motor en el siguiente orden de arriba abajo: Marrón, Amarillo, Negro, Naranja.

En el bloque terminal superior central, se conectará la alimentación de 5 V proveniente de la planta 1, y servirá de enlace para suministrarla a la planta 3 (Figura 3.96).

En el bloque terminal inferior en la vía izquierda, se conectarán los cables verde y rojo del motor, que suministran la alimentación a las bobinas del motor. En la vía derecha (Figura 3.96), se encuentra la salida para poner en saturación el transistor 2N2222 alojado en la planta 1, que energiza la bobina del relé produciendo la desconexión del sistema.

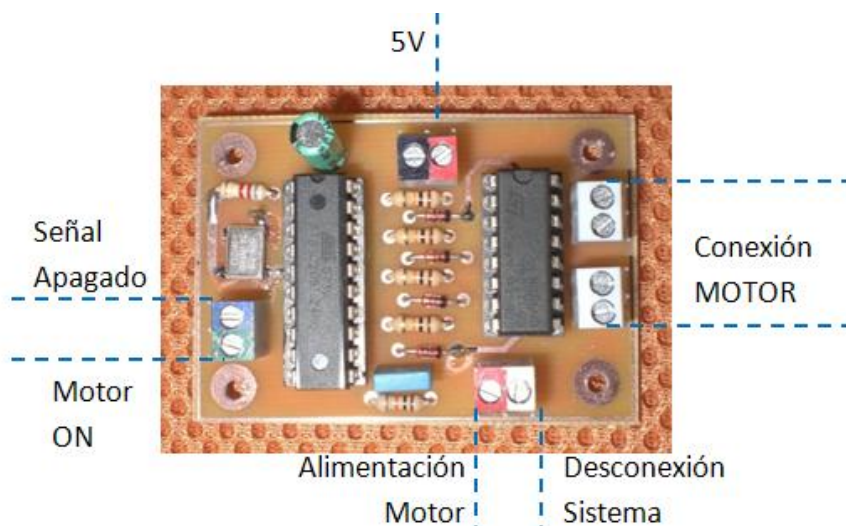


Figura 3. 96: Vista superior de la placa 2 (placa de control motor)

Finalmente, la planta 2 queda distribuida como se ve en la Figura 3.97:

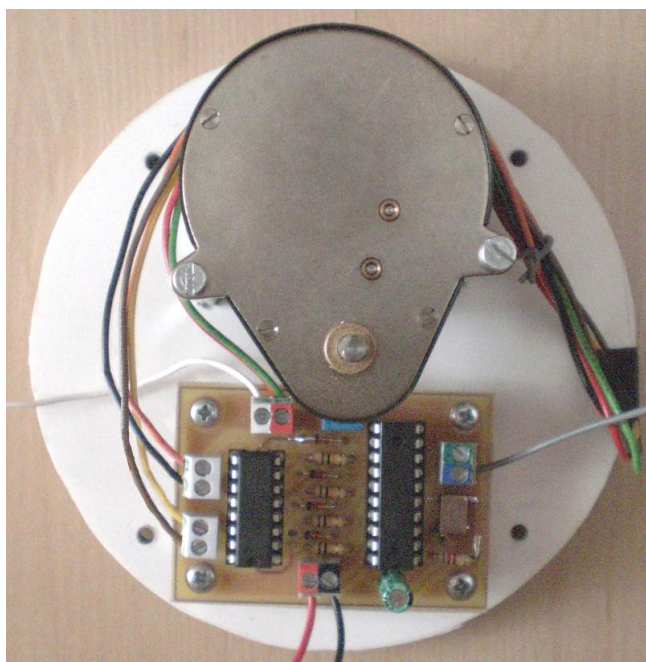


Figura 3. 97: Vista superior de la Planta 2

3.2.3. Planta 3

En esta planta (Figura 3.98), se aloja la placa 3 encarda de controlar los mensajes que se graban y reproducen, así como de la interactuación con la interfaz.

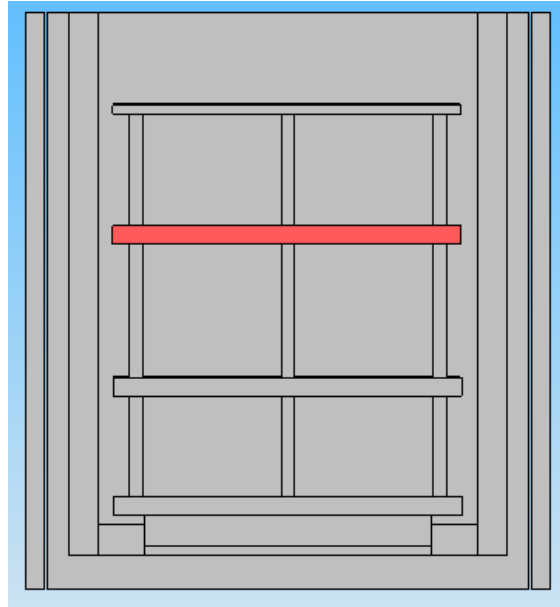


Figura 3. 98: Detalle de la posición de la planta 3 en el cubo

A grandes rasgos, los componentes más importantes de esta placa son el chip-grabador ISD25120, el microcontrolador AT89C4051 que controlará los mensajes que se grabaran o reproducirán, así como otras funciones como mandar activar el motor y apagar el sistema a la placa 2, detectar los pulsadores, cambiar el led iluminado que indican el tiempo de reacción y diversas interacciones con la interfaz.

COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO

ISD25120

El dispositivo ISD25120 es un chip grabador-reproductor capaz de grabar 120 segundos, en el que se pueden direccionar los mensajes. Tiene varios modos de funcionamiento, pero ninguno sirve para esta aplicación.

En la Figura 3.99, se observa un diagrama del funcionamiento interno del chip. El dispositivo accede a la posición de memoria que se quiera seleccionar por los buffers de dirección y al empezar una grabación o reproducción, va avanzando por esas direcciones de memoria sincronizadas con el circuito de reloj.

Dispone de un preamplificador de señal para el micrófono por lo que no hay que ponerlo externamente.

Así mismo dispone de un circuito amplificador para la señal de audio, pero no es suficiente por lo que sí que se añadirá al circuito un amplificador.

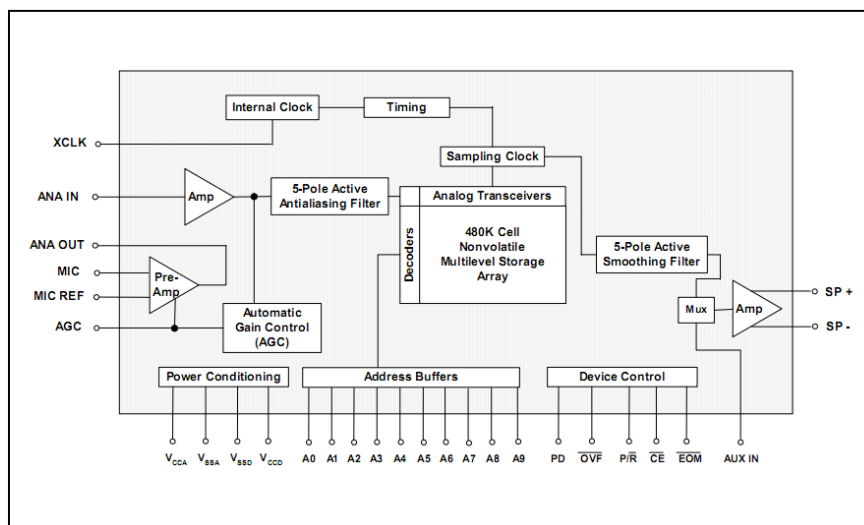


Figura 3. 99: Estructura interna del Chip-Corder ISD25120

a. Resumen del patillaje más significativo del dispositivo

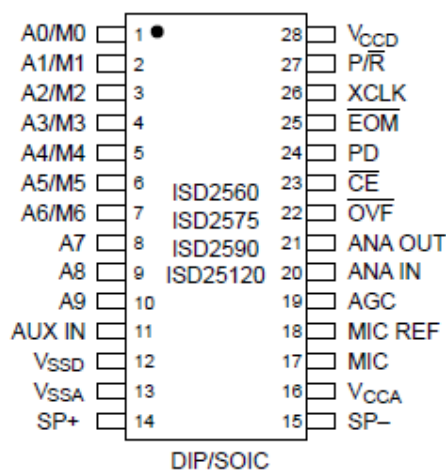


Figura 3. 100: Patillaje del Chip-Corder ISD25120

Dirección/Modo: A0-A9/M0-M6 (Figura 3.100)

Los pines para direccionar los mensajes son 10 (A0-A9). Los pines para elegir el modo que se quiere usar son los mismos que los 7 primeros de las direcciones (M0-M6).

Las entradas de Dirección/Modo tienen dos funciones dependiendo del nivel de los bits más significativos (MSB) de los pines de las direcciones (A8 y A9).

Si cualquiera o ambos de los MSBs están a nivel bajo, las entradas serán interpretadas como bits de Dirección. Por el contrario si ambos MSBs están a nivel alto, las entradas serán interpretadas como bits de Modo, y el modo o los modos operacionales que se usarán (siempre y cuando sean compatibles) dependerán de los pines (M0...M6) que estén a nivel alto.

Los 6 modos tienen funcionamientos interesantes descritos en el datasheet, pero para la aplicación de este proyecto no necesitamos ningún modo operacional. Esto se debe a que para seleccionar el modo de funcionamiento se utilizan los pines de dirección de los mensajes, es decir, el uso de los modos operacionales no es compatible con direccionar directamente los mensajes.

VSSA, VSSD: Son los pines correspondientes a la “tierra” del circuito analógico y digital respectivamente.

SP+/SP-: Estos pines son los que dan la salida de audio con escasa potencia, por lo que se recomienda utilizar un amplificador de audio.

VCCA, VCCD: Estos pines son los encargados de alimentar tanto el circuito analógico como el digital respectivamente.

MIC: Este pin transfiere la señal de entrada a un chip preamplificador.

MIC REF: Este pin es la entrada invertida al preamplificador del micrófono. Esto permite una cancelación del ruido o rechazo al modo común al dispositivo, cuando se le conecta un micrófono diferencial.

AGC: Control de Ganancia Automática. Ajusta la ganancia del preamplificador para compensar un amplio rango de niveles de entrada del micrófono.

ANA IN: Esta entrada transfiere la señal analógica al chip para grabarla. Entre los pines ANA OUT y ANA IN se coloca un filtro paso banda para filtrar la señal proveniente del preamplificador del micrófono. En el caso de venir la señal de otra fuente diferente a la de un micrófono, se conectaría directamente a la patilla de entrada ANA IN, y la patilla ANA OUT no se utilizaría.

ANA OUT: Esta es la salida del preamplificador del micrófono que tendrá una ganancia determinada por el nivel del voltaje del pin AGC.

CE: Chip Enable. Para poder utilizar las operaciones de Reproducción y Grabación se pondrá esta entrada a nivel BAJO.

PD: Power Down. Este pin se pondrá a nivel ALTO para resetear el puntero de las direcciones al principio de la memoria. Como en este caso las direcciones de memoria serán controladas por el microcontrolador 8051, este pin lo mantendremos conectado a un nivel BAJO.

XCLK: Esta patilla se usa con el fin de cambiar la frecuencia del reloj para aplicaciones con mayor precisión. En este caso es suficiente la proporcionada por el propio chip, por lo que dejaremos esta patilla conectada a tierra, obteniendo así una frecuencia de reloj de 4 KHz.

P/R: Este es el pin que nos permitirá seleccionar las funciones de Playback/Record. Si se selecciona un nivel ALTO en esta entrada significa que está activo el ciclo de Playback o reproducción. Si por el contrario se selecciona un nivel BAJO, significa que está activo el ciclo de Record o de grabación.

AT89C4051

Este microcontrolador es igual que el descrito anteriormente (AT89C2051) con la diferencia de que este tiene 4KB de memoria ROM.

Estará provisto de un oscilador y un circuito de Reset igual que el anterior.

a. Configuración del micro [11]

TIMER_0: Configurado en modo 1 como temporizador de 16 bits con autorrecarga de 20 ms. Según el modo de funcionamiento que tenga el programa en ese momento ejecutará una serie de instrucciones u otras.

TIMER_1: Configurado en modo 2 como contador de 8 bits con recarga automática. El contenido de TH1 se carga en TL1 cuando este llega a 0. TH1=0xFF, por lo que sólo contará una unidad cada vez que se active la patilla externa del timer 1.

INT_0: Configurado para que detecte por nivel 0. Irá conectado al pulsador START, con el cual se podrá grabar y/o reproducir los mensajes así como reiniciar la fase de preguntas.

INT_1: Configurado para que detecte por nivel 0. Irá conectado a un fotodiodo y al jack del pulsador externo, reproduciéndose cuando se active el mensaje correspondiente.

Patillas P1.0-P1.3: A través de ellas se manda al chip-corder la dirección del mensaje en la que se quiere actuar ya sea para grabar o reproducir en ella.

Patilla P1.4: Actúa como entrada. Servirá al micro para saber si el selector PLAY/REC está en una posición o en otra.

Patillas P1.5 y P1.6: Actúan como salida. Se comunican con un demultiplexor 2x4 para que active uno de los cuatro leds según el código enviado.

Patilla P1.7: Actúa como salida. Se comunica con la patilla CE del chip-corder para activar o desactivar las funciones de grabar o reproducir.

Funcionamiento de la Placa de Sonido

El circuito que se ha desarrollado para grabar y reproducir los mensajes correspondientes para este proyecto es el siguiente:

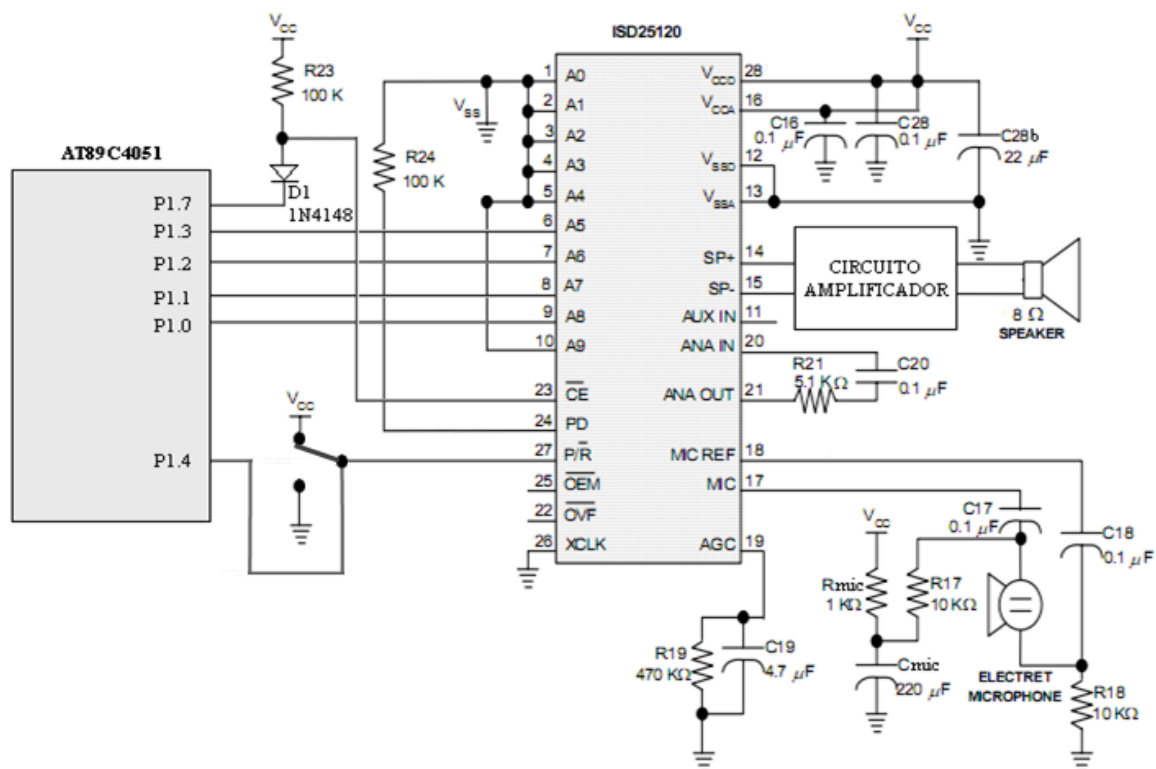


Figura 3. 101: Circuito de aplicación del ISD25120 tomado de su datasheet modificado con el microcontrolador AT89C4051 para la placa 3

Las patillas P1.0-P1.3 que se dirigen a los pines de dirección (Figura 3.101), tendrán unas resistencias de pull-up para un correcto funcionamiento, ya que como se puede ver en el datasheet del 8051, las patillas P1.0 y P1.1 no disponen de pull-up interno, y a pesar de que las otras dos patillas si lo tienen internamente, no es suficiente para suministrar la corriente necesaria en el circuito desarrollado. En el dibujo del circuito no se han añadido por simplificar el mismo.

El chip ISD25120 se direcciona mediante el microcontrolador AT89C4051. En la Tabla 4 se muestra la relación de pines con la que se comunican el micro y el chip grabador-reproductor.

AT89C4051	ISD25120
P1.0	A8
P1.1	A7
P1.2	A6
P1.3	A5
P1.4	P/R
P1.7	CE

Tabla 4: Relación de pines entre el microcontrolador AT89C4051 y el chip-corder ISD25120

a. Lista de mensajes (Tabla 5)

GRUPO	DIRECCIÓN	MENSAJE
1	12	"Vamos a ver qué podemos hacer hoy"
	11	Hoy podemos "hacer acción 1" ...ó...
	10	... podemos "hacer acción 2" ...ó...
	9	... podemos "hacer acción 3" ...ó...
	8	... podemos "hacer acción 4"
2	7	¿Quieres "realizar acción 1"?
	6	¿Quieres "realizar acción 2"?
	5	¿Quieres "realizar acción 3"?
	4	¿Quieres "realizar acción 4"?
3	3	Atención: Quiero "realizar acción 1"
	2	Atención: Quiero "realizar acción 2"
	1	Atención: Quiero "realizar acción 3"
	0	Atención: Quiero "realizar acción 4"

Tabla 5: Descripción de los mensajes

El número de mensaje se corresponde con el número que se seleccionará con las patillas del puerto 1, P1.0-P1.3.

El programa utilizado para este microcontrolador consta de cuatro modos

- Modo 0: Es una espera de los seis primeros segundos, durante los que se puede cambiar con el pulsador TIEMPO, el tiempo de reacción esperado del niño cuando tenga que pulsar una cara del cubo. Cada vez que se pulse TIEMPO se iniciará de nuevo la cuenta de 6 segundos.
Si se activa el pulsador START se pasa al modo 1 donde se puede grabar y reproducir todos los mensajes para que puedan ser modificados.
En caso de no haber pulsado START en los 6 primeros segundos, se pasa al modo 2.
- Modo 1: Se procederá a grabar o reproducir los mensajes dependiendo de la posición del selector PLAY/REC.

- Modo 2: El programa transcurre de forma normal una vez transcurridos 6 segundos, preguntando al niño qué quiere hacer para después comunicárselo a los cuidadores.
- Modo 3: El programa comienza una cuenta de 6 minutos para apagarse de forma automática transcurrido este tiempo si no se ha hecho antes de forma manual o no se produce ningún evento. También se puede volver a emitir el mensaje de atención si se hubiera pulsado alguna cara y/o reiniciar la fase de preguntas. Si se repitiera el mensaje de atención, se pasaría de forma temporal al Modo 2 para reproducir el mensaje, y al finalizar éste, se volvería al modo 3.

A modo de resumen de lo dicho anteriormente y para mayor comprensión de la explicación de los modos más específicamente se muestra en la Figura 3.102 un resumen de cómo funciona la programación implementada en el micro.

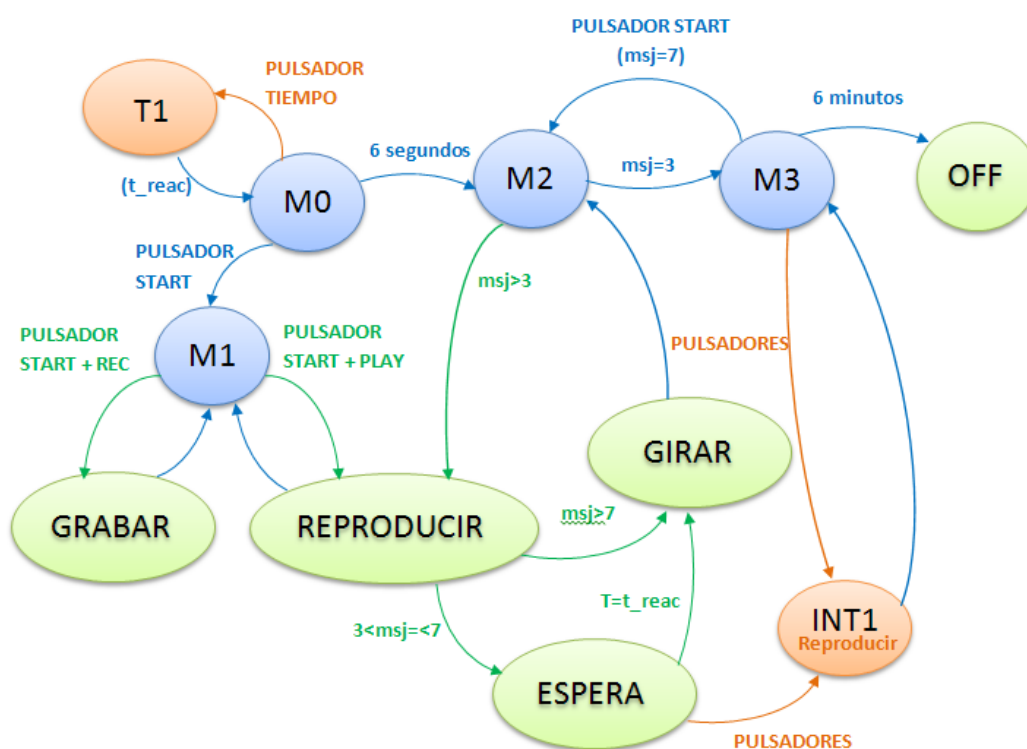


Figura 3. 102: Diagrama de funcionamiento general de los modos del programa

MODO 0:

1. Se inicia una cuenta de 6 segundos. Pasado este tiempo se cambiará al modo 2 (Figura 3.103).
2. Durante los 6 primeros segundos de inactividad se puede cambiar el tiempo de reacción para el modo 2 con el pulsador TIEMPO, encendiéndose los leds amarillos de la interfaz según proceda. Al encender el cubo, por defecto estará activado para 5 segundos y por tanto, encendido el primer led amarillo. Cada vez que se pulse TIEMPO se reiniciará la cuenta de 6 segundos.

3. Durante la cuenta anterior, al activar el pulsador START, se activa la interrupción INT0 por primera vez, parando la cuenta de 6 segundos y se pasará al modo 1 para proceder a grabar y/o reproducir mensajes (Figura 3.102).

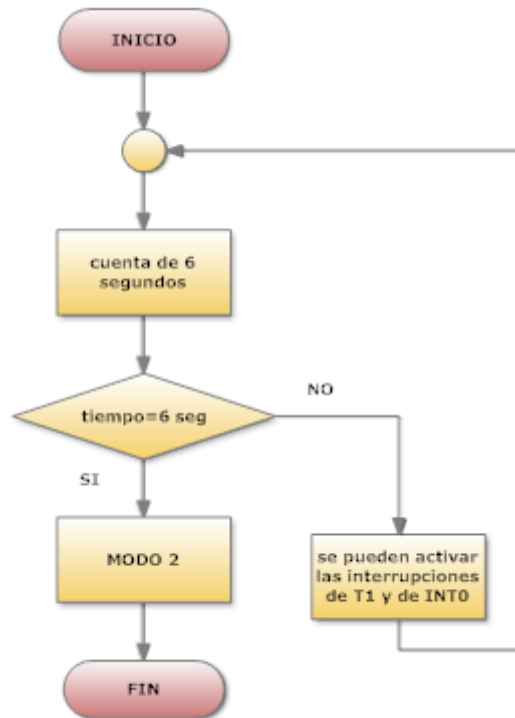


Figura 3. 103: Diagrama de flujo para el modo 0

MOD0 1:

1. Al pulsar el pulsador START se activa la interrupción INT0. Esta primera vez que se pulsa, solo es para parar la cuenta de 6 segundos y así poder seleccionar si se quiere grabar o reproducir (Figura 3.102).
2. Si el interruptor selector está activando la acción PLAY (reproducir), y se pulsa START (Figura 3.103), se escuchará el primer mensaje mostrado en la tabla anterior, es decir, el mensaje número 12.
3. Para escuchar el siguiente mensaje (número 11) se volverá a pulsar START, y así sucesivamente.
4. Si se desea volver a grabar alguno de los mensajes escuchados se cambiará el interruptor selector a REC y se pulsará momentáneamente START (Figura 3.104).

Siempre que haya un cambio en el interruptor selector PLAY/REC, al pulsar START se mantendrá la dirección del mensaje que tuviera en el anterior estado. Si no hay ningún cambio se procederá a grabar o reproducir el siguiente mensaje según el orden inverso al mostrado en la tabla anterior, empezando por la dirección 12 y terminando en la 0.

PLAY: Para indicar el estado de reproducción se mantendrá encendido el primer, segundo o tercer led amarillo colocado en la interfaz, dependiendo del grupo en el que se encuentre en ese momento la dirección de los mensajes que envía el 8051 al chip-corder.

REC: Para indicar el estado de grabación se mantendrá encendido el último led de todos que es rojo. Una vez que se pulse START se mantendrá encendido el led amarillo correspondiente para indicar que durante ese tiempo está grabando el dispositivo. Cuando finalice la grabación se volverá a encender el led rojo.

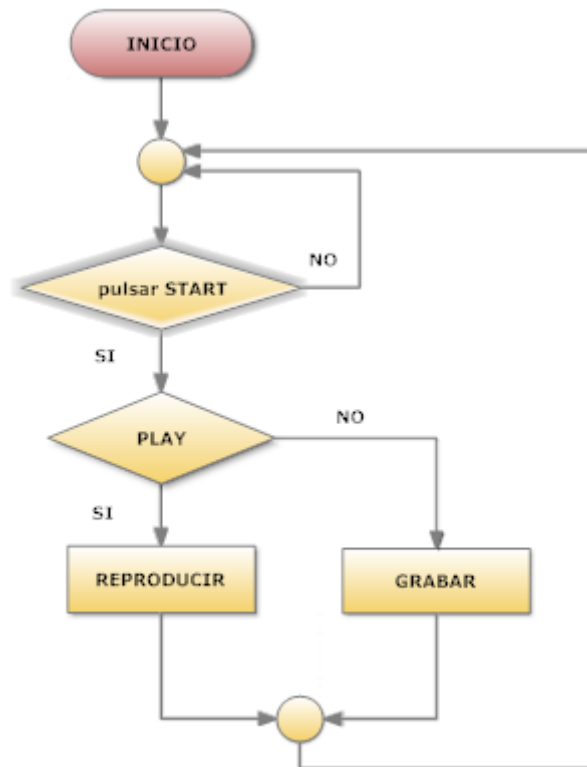


Figura 3. 104: Diagrama de flujo para el modo 1

MODO 2:

Transcurridos los 6 primeros segundos se desactivan las interrupciones para los pulsadores TIEMPO Y START y comienza una secuencia de reproducción de mensajes y giro del cubo.

Esta sería la **presentación** de las posibles actividades a realizar:

ORDEN DEL 8051	TIEMPO DE EJECUCIÓN Y ESPERA
Reproducir dirección 12	7 segundos
Reproducir dirección 11	7 segundos
Girar	6 segundos
Reproducir dirección 10	7 segundos
Girar	6 segundos
Reproducir dirección 9	7 segundos
Girar	6 segundos

Reproducir dirección 8	7 segundos
Girar	6 segundos

Tabla 6: Ejecución del programa para la presentación

El tiempo de ejecución y espera incluye lo que tarda en reproducir un mensaje que son 5 segundos o lo que tarda en girar el cubo un cuarto de vuelta que son 4 segundos, más 2 segundos para diferenciar una acción de otra (Tabla 6).

Lo que realmente hace el micro en esta fase es lo siguiente:

1. Con P1.0-P1.3 (A8-A5) selecciona la dirección deseada en el chip-corder para reproducir y a la vez activa el TIMER_0 para empezar a contar 7 segundos.
2. Pone a nivel bajo la patilla P1.4 que se comunica con la patilla CE del ISD25120 y también pone a nivel bajo la patilla P3.0 para que funcione el amplificador de sonido.
3. P1.4 se vuelve a poner a nivel alto cuando ha ocurrido una interrupción del TIMER_0. La patilla P3.0 se pondrá a nivel alto al transcurrir los 5 segundos que dura el mensaje.
4. Cuando ha terminado de contar el TIMER_0 se pasa al siguiente paso. Si es “reproducir” se repetirá todo el proceso anterior. Si es “girar” se pondrá a ‘0’ la patilla P3.7 para mandar la señal a la placa 2 y activar el motor. Esta se volverá a poner a nivel alto cuando el TIMER_0 se haya desbordado una vez.

Tras la presentación empieza la secuencia para preguntar al usuario si desea realizar alguna de las acciones propuestas (Tabla 7). Básicamente esta parte funciona igual que la anterior, pero cambiando algunos tiempos.

CARA DEL CUBO	ORDEN DEL 8051	TIEMPO DE EJECUCIÓN Y ESPERA
1	Reproducir dirección 7	7 segundos + t.reacción
	Girar	6 segundos
2	Reproducir dirección 6	7 segundos + t.reacción
	Girar	6 segundos
3	Reproducir dirección 5	7 segundos + t.reacción
	Girar	6 segundos
4	Reproducir dirección 4	7 segundos + t.reacción
	Girar	6 segundos

Tabla 7: Ejecución del programa en la fase de preguntas

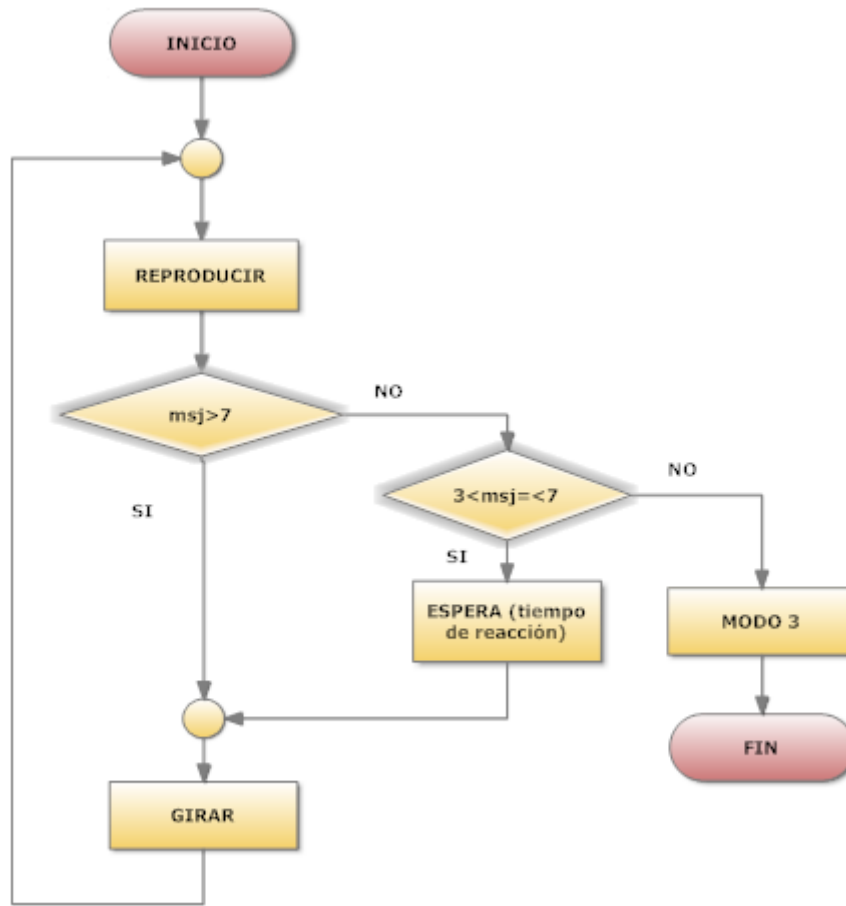


Figura 3. 105: Diagrama de flujo para el modo 2

Durante los tiempos de reproducción se habilita la interrupción INT1, que se activará si el usuario golpea la cara lateral, o el pulsador conectado con un Jack (Figura 3.102). Cuando empieza la acción de girar, se inhabilitará la interrupción 1. En caso de que no se active mediante algún pulsador la interrupción INT1 se pasará al modo 3 cuando se haya girado de nuevo a la cara 1.

En caso de que sí se haya pulsado la cara lateral o el pulsador conectado al jack, dependiendo de la cara en la que se encuentre se activará un mensaje u otro, que será el que avise a los cuidadores de que se desea realizar una acción (Tabla 8).

CARA	PREGUNTA AL USUARIO	ATENCIÓN AL CUIDADOR
1	Dirección 7	Dirección 3
2	Dirección 6	Dirección 2
3	Dirección 5	Dirección 1
4	Dirección 4	Dirección 0

Tabla 8: Dirección memoria chip- corder que impone la interrupción dependiendo la cara en la que se encuentre

Una vez que se lanza el mensaje de atención a los cuidadores, el cubo no volverá a girar y se pasará al modo 3.

MODO 3:

Se empezará una cuenta de 6 minutos para realizar un apagado automático en el caso de que no se haga manualmente. En este tiempo de espera se activará la interrupción INTO (pulsador START) en caso de que no se haya activado mediante los pulsadores la interrupción INT1. En caso contrario, se activarán INTO e INT1 (pulsador cara lateral o Jack). Si el usuario vuelve a pulsar la cara lateral, se ejecutará de nuevo la interrupción 1, volviendo al modo 2 para lanzar el mensaje de atención, y al finalizar se volverá al modo 3 para empezar de nuevo la cuenta de 6 minutos.

Durante estos 6 minutos, también cabe la posibilidad de que se quiera volver a ejecutar la parte del programa que pregunta al usuario, por lo que pulsando START, el micro detectará la posición en que se ha quedado el cubo y girará las veces que sean oportunas para colocarse de nuevo en la primera cara, pasando al modo 2 para empezar la secuencia de preguntas de las actividades propuestas (Figura 3.102).

En realidad el micro reconoce el mensaje que ha reproducido y le suma uno para ver cuántas veces debe girar un cuarto de vuelta, ya que por cómo se han distribuido los mensajes, la relación que hay entre la cara en la que se queda el cubo y la dirección correspondiente hace esto posible.

Cuando se empieza otra vez la secuencia de preguntas tras haber pulsado START, inicialmente se contarán 6 segundos igual que la primera vez, para que se pueda cambiar el tiempo de reacción si fuera necesario.

Circuito Amplificador de Audio

Para que todo este proceso funcione correctamente se necesita un circuito amplificador para escuchar los mensajes emitidos por el cubo ya que sin él, el volumen que proporciona el ISD25120 es muy débil. El amplificador de audio elegido es LM4871M.

El circuito se ha basado en el circuito típico de aplicación el cual tiene dos entradas. En el circuito típico sólo se usa una de ellas, la negativa, (Figura 3.106), filtrando la señal para eliminar el ruido de bajas frecuencias con un filtro paso alto. En este caso, al tener el ISD25120 dos salidas de audio, se usarán las dos entradas del amplificador, por lo que se ha añadido también un filtro paso alto para la entrada positiva (Figura 3.106). Este amplificador proporciona una potencia típica de 1,5W para una alimentación de 5V y un altavoz con resistencia de 8Ohm a la salida. No obstante, esta potencia varía según donde esté el cursor del volumen, que es el potenciómetro de 250 K Ω situado en el lazo de ganancia del amplificador.

Debido al alto consumo del amplificador, se activará su funcionamiento mediante la patilla Shutdown, para que esté activo sólo durante la reproducción de los mensajes. Esto se controlará mediante el microcontrolador 8051, habilitándolo cuando se ponga la patilla P3.0 a nivel bajo (Figura 3.106).

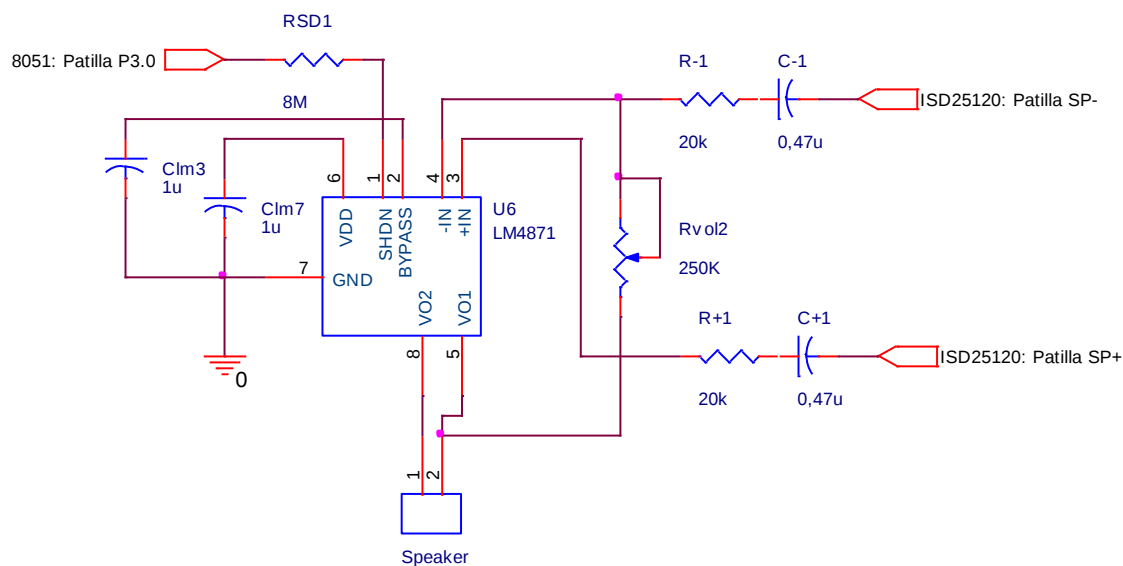


Figura 3. 106: Detalle del diseño en Orcad de la placa 3 del Circuito Amplificador de Audio

Demultiplexor

Para la comunicación visual del cubo con el usuario se han implantado en el circuito 3 leds amarillos con los que se podrá ver la selección del tiempo de retardo, que se hará cuando esté en la fase de preguntas. Estos leds también indicarán, cuando se esté en el modo de grabación/reproducción de mensajes, el grupo al que pertenece cada mensaje. Por otra parte, hay un led rojo que indicará que está en el modo de grabación.

Debido a la insuficiencia de pines en el micro para activar estos leds, y a que la corriente que suministraría a los leds sería limitada, se ha añadido al circuito un demultiplexor que controlará el encendido de los cuatro leds mediante dos de las patillas del 8051.

En la Tabla 9 se muestra la tabla de funcionamiento. Con las dos entradas de selección se deja una de las salidas a nivel bajo. Puesto que el ánodo de los leds está conectado a 5 V se crea una diferencia de tensión y sólo se encenderá el led seleccionado. La patilla Unable (entrada *E*, Tabla 9), está siempre a nivel bajo ya que en todo momento tiene que estar uno de los leds encendidos.

INPUTS ENABLE SELECT			OUTPUTS			
$\bar{E}$	A1	A0	$\bar{Y}3$	$\bar{Y}2$	$\bar{Y}1$	$\bar{Y}0$
0	0	0	1	1	1	0
0	0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	1	1
1	X	X	1	1	1	1

NOTE: X = Don't Care, Logic 1 = High, Logic 0 = Low

Tabla 9: Salidas en función de las entradas del demultiplexor

En cada salida se ha puesto una resistencia de $220\ \Omega$ (Rrec, Rt4, Rt5, Rt6; Figura 3.103), para limitar a 20 mA la corriente, y que la caída de potencial en los leds no supere los 0,7V (Figura 3.107).

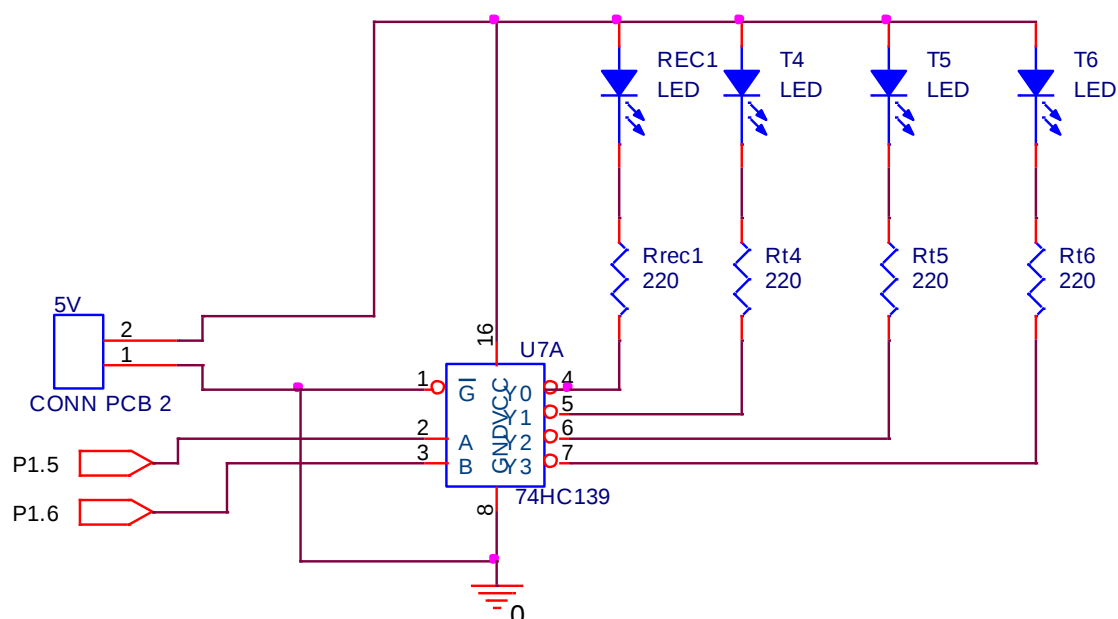


Figura 3. 107: Detalle del diseño en Orcad de la placa 3 del circuito del Demultiplexor

Activación de la interrupción INT1

Se han diseñado dos circuitos para comunicarse entre ellos, de forma que uno de ellos se coloca en la parte móvil del cubo donde estarán los pulsadores de las caras laterales (emisor led, Figura 3.108) y el otro en la placa 3 (receptor fotodiodo, Figura 3.108). Como se puede ver, esta comunicación debe de ser inalámbrica ya que si hubiera algún cable de por medio, habría que haber diseñado el cubo para que no diera un máximo de vueltas y se estrangulase, lo que le hubiera obligado a girar a la inversa para colocarse en una posición inicial para no sufrir daños internamente.

Esta comunicación se realiza mediante un led infrarrojo y cuatro fotodiodos colocados para coincidir uno cada vez con el led tras cada giro de 90° del cubo.

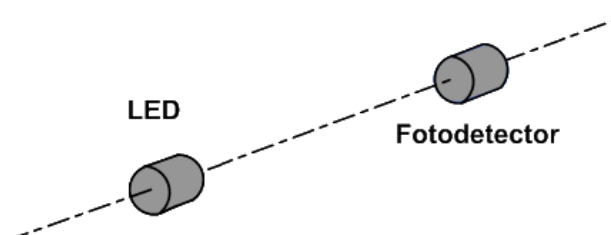


Figura 3. 108: Colocación del emisor y receptor infrarrojo

 Placa 4, anexa a planta 3

Esta placa consta de un portabaterías para una pila de 3V con su correspondiente pila, una resistencia que limita la corriente, un led IR y dos zócalos para conectarla a los pulsadores (Figura 3.109).

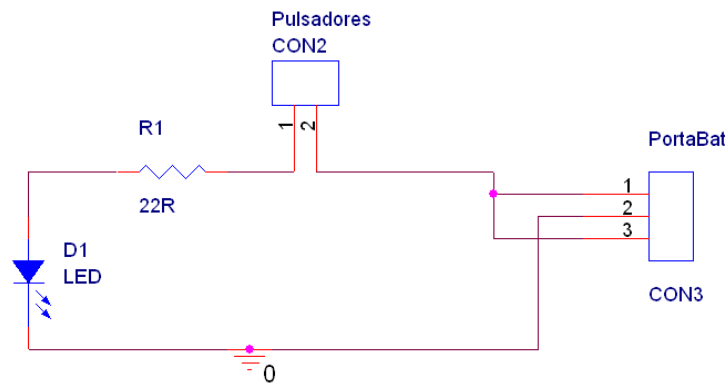


Figura 3. 109: Diseño en Orcad de la placa anexa a la Planta 3

La colocación de esta batería se debe a la requerida independencia entre la parte fija y la parte móvil. Para que no haya cables que se puedan enrollar internamente cuando el motor gira la parte móvil, no podemos conectar este circuito a la batería situada en la primera planta.

En el circuito (Figura 3.109), se polariza un led IR en directa, con una batería de 3V, limitando con la resistencia de $22\ \Omega$ la corriente a 81mA ya que la caída de potencial en el diodo son 1,2 V, y la corriente es suficiente para su emisión infrarroja.

Se han realizado en la placa dos taladros de 3mm de diámetro en la diagonal izquierda para sujetarla a la estructura (Figura 3.110).



Figura 3. 110: Vista superior de la placa anexa a la Planta 3

Al estar en polarización directa, lo que pasa internamente en el diodo cuando se cierran los pulsadores y le llega corriente, es que por cada electrón-hueco que se recombina, se crea un fotón, y de esta forma se crea una onda electromagnética con una

determinada longitud de onda que vendrá dada por el material del cual se compone el led IR.

Según el datasheet y con la corriente calculada anteriormente, se emite una potencia óptica de 1,8W, lo que da una potencia relativa de 0,9, que como se observa en la Figura 3.111, indica que se emite una longitud de onda de 940 nm aproximadamente.

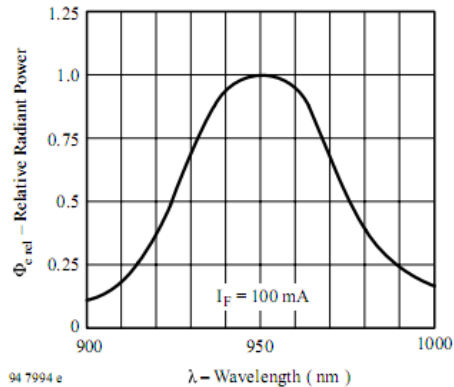


Figure 9. Relative Radiant Power vs. Wavelength

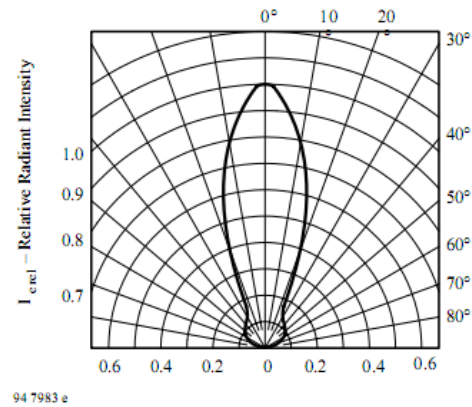


Figure 10. Relative Radiant Intensity vs. Angular Displacement

Figura 3. 111: A la izquierda espectro de salida del led infrarrojo. A la derecha forma y abertura de la emisión

La intensidad relativa emitida es máxima para 0°, y de 80% para 10°. Como se ha dicho antes el emisor y el receptor estarán colocados uno enfrente al otro por lo que no habrá problemas con la recepción de la intensidad de onda emitida.

La colocación de la placa será en la cara 1 de la estructura interna de la parte móvil del cubo como se dijo anteriormente, de tal forma que el led IR quede en el centro de la cara y a la altura en la que se encuentra el fotodiodo en la estructura fija del cubo (Figura 3.112). Con una broca se harán dos agujeros de 7 mm de profundidad y 2,5mm de diámetro, para posteriormente roscarlo con un tornillo M3x9 mm. La placa se atornillará a la cara, poniendo entre el PVC y la misma placa una tuerca en cada tornillo, para que haga las veces de separador.



Figura 3. 112: Sujeción de la placa anexa a la Planta 3 en la parte trasera de la cara interior 1 de la estructura móvil

El dispositivo usado es un fotodiodo infrarrojo tipo PIN (Figura 3.113). En este tipo de fotodiodo existe una capa de semiconductor intrínseco entre la capa P y N [8]. La zona de transición se extiende a lo largo de toda esta capa para lo que, normalmente, es necesario aplicar una cierta tensión inversa. Puesto que la zona de transición es larga, la respuesta a longitudes de onda largas (luz infrarroja) es muy buena y, además, la capacidad de transición es pequeña por lo que son fotodiodos muy rápidos y muy utilizados en comunicaciones.



Figura 3. 113: Estructura interna de un fotodiodo tipo PIN

Una vez visto esto en la Figura 3.114 se observa el circuito que se ha diseñado e implementado en la placa de la planta 3:

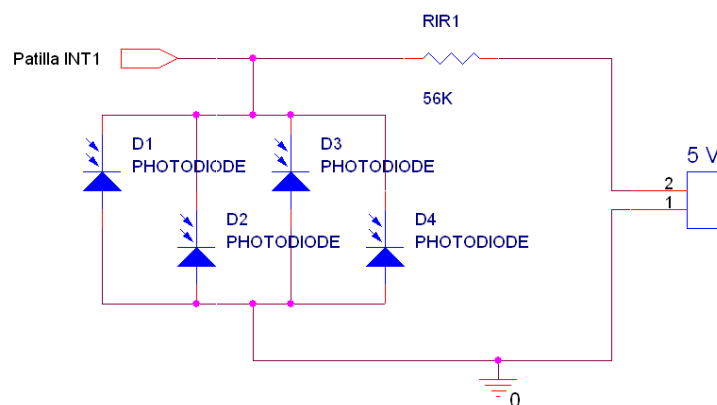


Figura 3. 114: Detalle del diseño en Orcad de la placa 3 del circuito de detección de infrarrojos

Cuando ninguno de los fotodiodos detecta ninguna onda en el rango de frecuencias de 750 -1050 nm, actúan como circuitos abiertos, manteniéndose a nivel alto la interrupción INT1. En caso contrario, el que reciba radiación actúa como un cortocircuito, llegando una señal de nivel bajo a la patilla INT1 (Figura 3.114) y produciéndose la ejecución del código para la interrupción. En ese momento, la resistencia de 56 K Ω será la que soporte los 5V de la polarización, así como también limita la corriente que llega al fotodiodo en cuestión, ya que sólo se activará uno cada vez, el que esté enfrentado al LED de la placa inferior.

La polarización del fotodiodo es en inversa, con una corriente de oscuridad de unos 2 nA y una corriente de funcionamiento que depende de la incidencia de la onda en él, y según el datasheet son unos 80 μ A.

Como se puede ver en el datasheet, el rango de detección de longitud de onda es mayor que el emitido por el led, así como el ángulo de detección de onda.

Para los 940nm emitidos por el led IR, el fotodetector lo detecta con una sensibilidad espectral máxima (Figura 3.115), y además con un ángulo de 40° capta la onda con una sensibilidad relativa del 80%. Por tanto, dada la forma espectral cosenoidal de la intensidad del led y la forma lambertiana de la sensibilidad espectral del fotodiodo, se asegura la comunicación entre ambos dispositivos.

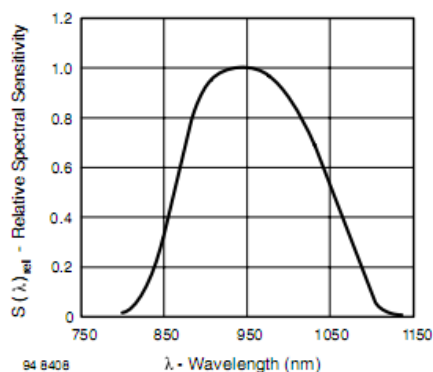


Fig. 6 - Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

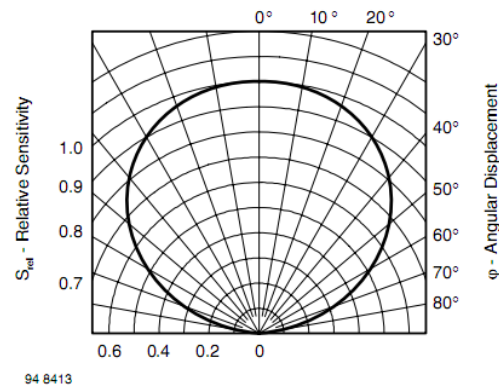


Fig. 7 - Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

Figura 3. 115: A la izquierda espectro de entrada del fotodiodo. A la derecha forma y abertura de la recepción

CONEXIONES PLANTA 3

El resultado final de la placa es el de la Figura 3.116, en que todavía falta por implementar los componentes que van adheridos a la interfaz y se conectan con esta.

También se conecta con la placa de la planta 2 mediante los bloques terminales de dos vías situados en el centro. En el que está en la parte superior de la placa, se conectará la alimentación de 5V desde la planta 2 (Figura 3.116).

En el bloque situado en la parte inferior, se conectará un cable que unirá la patilla P3.1 del AT89C4051 con la misma patilla del AT89C2051 de la planta 2 para activar el

apagado automático (Figura 3.116). En la otra vía de este bloque, se conectará la patilla P3.7 de esta placa con la patilla de interrupción INT0 de la planta 2 para activar el motor (Figura 3.116).

No obstante se han marcado con distintos colores los bloques terminales para diferenciar visualmente cada vía.

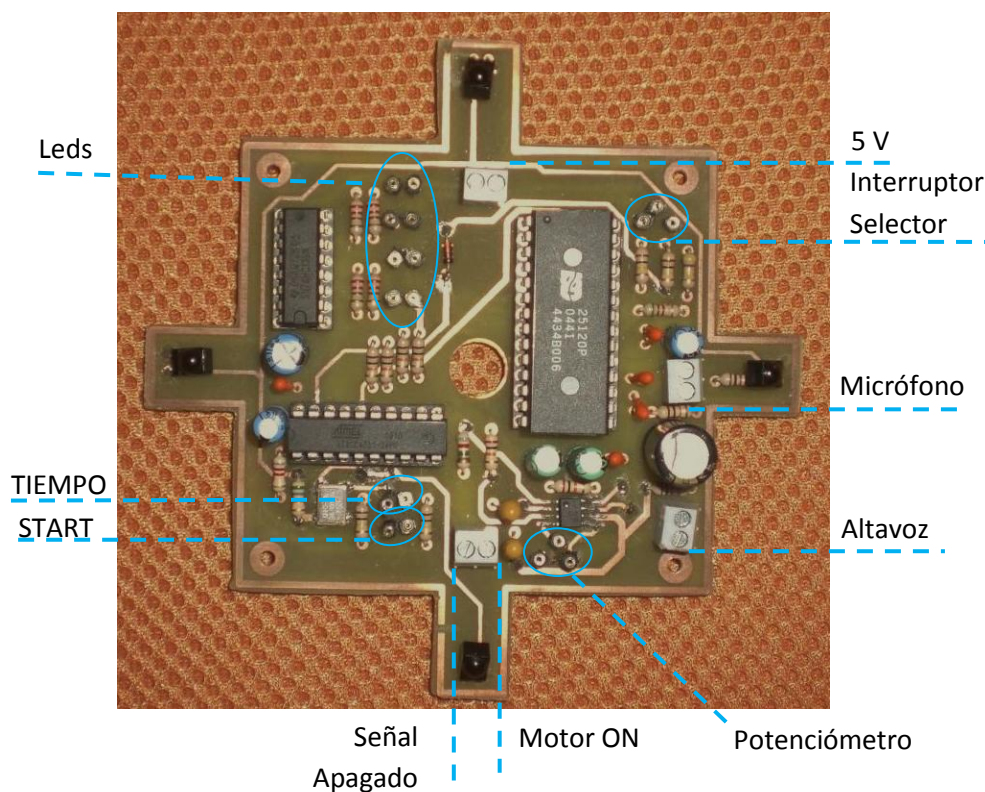


Figura 3. 116: Vista superior de la placa 3 (placa de sonido e interfaz)

Como se ha dicho en otros apartados, la interrupción INT1 se puede activar con los pulsadores laterales, pero también con un pulsador que se conectará a un Jack situado en la base del cubo. Este jack se conectará a la misma patilla de INT1 (circulo A, Figura 3.117), y a tierra (circulo B, Figura 3.117), de forma que cuando se pulse el pulsador externo, se cortocircuite, y se active la interrupción por detección de nivel bajo.



Figura 3. 117: Detalle de la placa 3 para la conexión del jack

En la Figura 3.117 se ve parte de la placa ampliada en la que se han señalado en amarillo el sitio donde se conectan los cables que vienen del jack. En estos puntos se han soldado unos zócalos hacia abajo haciendo la función de vías para que no haya cruce de pistas y para una fácil conexión del jack.

Conexión de la planta 3 y la interfaz

Los fotodiodos situados en cruz en la placa, tienen que estar perpendiculares a las caras laterales y en el centro de cada una. Este es el motivo por el cual las varillas roscadas están desviadas 12° a la derecha del eje central de la planta 3 y la interfaz (Figura 3.118).

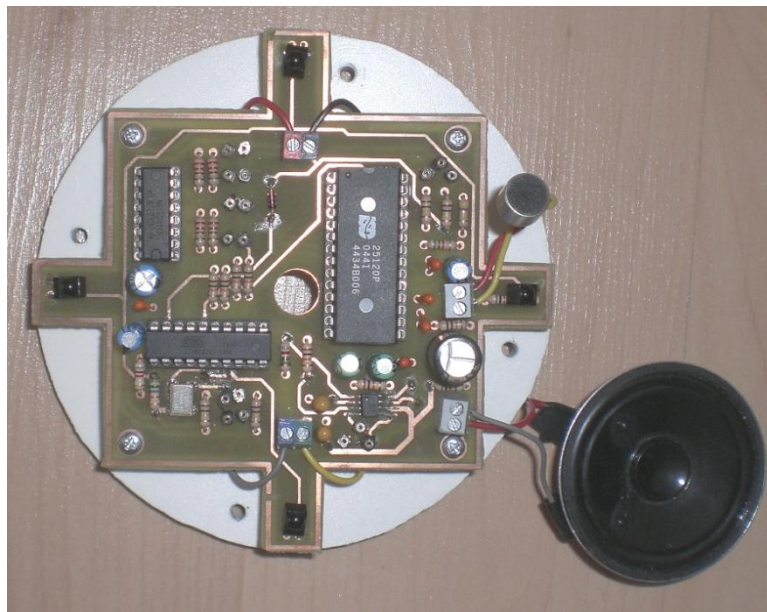


Figura 3. 118: Vista superior de la Planta 3

En los bloques terminales de la derecha se colocarán en el superior el micrófono y en el inferior el altavoz (Figura 3.116).

a. Micrófono

El micrófono es de tipo electret [6], que es una variante del micrófono de condensador que utiliza un electrodo laminal de plástico (Figura 3.119), y que al estar polarizado no necesita alimentación. Irá fijado a la interfaz con silicona.

Es omnidireccional, con una impedancia de salida de 1KOhm y una sensibilidad de 45 dB.



Figura 3. 119: Micrófono Electret

b. Altavoz

Se trata de un altavoz con una impedancia de 8 Ohm y 2 W de potencia nominal. La elección de este altavoz se ha debido sobre todo a su tamaño y peso, ya que tiene un diámetro de 50 mm y 50 gramos de peso (Figura 3.120), lo que hace fácil implantarlo en la interfaz: a pesar de que el cubo es bastante grande, finalmente no queda tanto espacio para todos los componentes. Irá fijado a la interfaz con silicona.



Figura 3. 120: Altavoz de 8KOhm

Tiene un nivel medio de presión sonora de 83 dB (ver Figura 3.121), lo que proporciona un rango de volumen con el que se puede contar en caso de que ruido ambiente sea alto y se necesite aumentar el mismo [5].

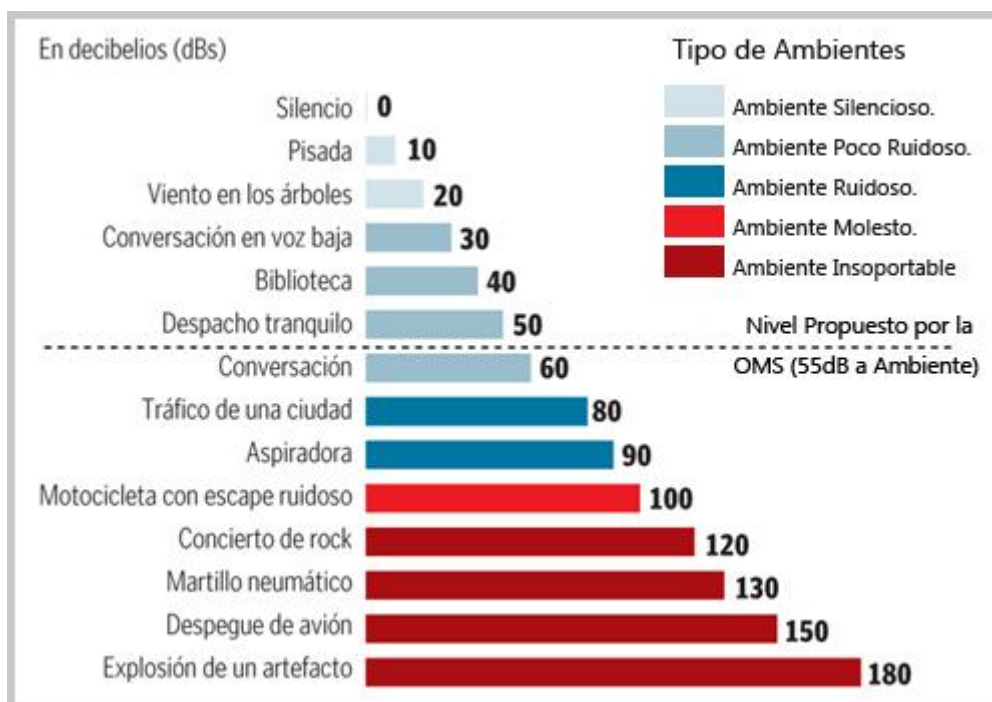


Figura 3. 121: Gráfica de equivalencia del sonido en dB

c. Potenciómetro

Es un potenciómetro de 250 K Ω (Figura 3.122), que varía la ganancia del amplificador de audio, lo que hace aumentar o disminuir el volumen a su salida. Este potenciómetro está especialmente indicado para aplicaciones de sonido haciendo que el ruido que pudiera introducir a la salida de audio sea mínimo.

Los zócalos en los que irá conectado será en los tres que se colocan en la parte inferior derecha de la placa (Figura 3.116), estando dos de ellos conectados a la entrada negativa del amplificador, y el otro a su salida correspondiente (Figura 3.106), cerrando de esta forma el lazo de ganancia.



Figura 3. 122: Potenciómetro de una vuelta de 250 K Ω

En la interfaz se hará una rosca en el hueco correspondiente M8, para fijar luego el potenciómetro con la rosca hecha en el PVC y la tuerca correspondiente por la parte superior.

Para girar el potenciómetro se le ha añadido al eje un mando de 20 mm (Figura 3.123), con línea indicadora que se fija mediante un tornillo en el lateral.



Figura 3. 123: Mando de 20 mm

d. Pulsadores

Son pulsadores momentáneos con configuración SPST-NO (Figura 3.124), que se conectarán en los dos pares de zócalos situados en la parte inferior izquierda de la placa (Figura 3.116). Los dos zócalos superiores corresponden al pulsador TIEMPO: uno de ellos va conectado a la patilla de interrupción T1, y la otra al plano de masa. En los dos zócalos inferiores se conectará el pulsador START, con uno de ellos conectado a la interrupción INTO y el otro al plano de masa.



Figura 3. 124: Pulsador momentáneo de la interfaz

En la interfaz, irán fijados haciendo tope con la tuerca, la cual se ha pintado con el mismo color de la misma.

e. Selector

Es un interruptor deslizable con configuración SPDT on-on (Figura 3.125), que permitirá cambiar el modo de operación del chip-corder para grabar o reproducir un mensaje.

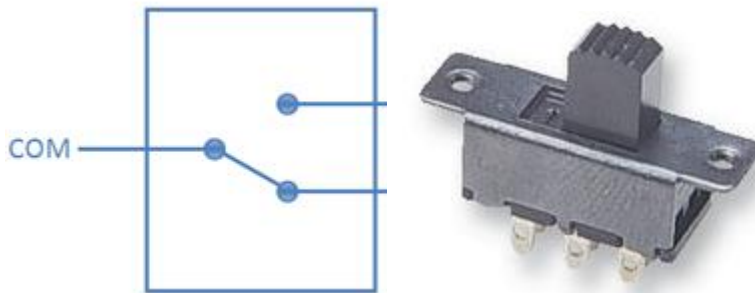


Figura 3. 125: A la izquierda configuración de un interruptor SPDT. A la derecha interruptor deslizante

Este interruptor va conectado a la placa mediante los tres zócalos que se sitúan en la parte superior derecha de la placa 3 (Figura 3.116). El contacto común va conectado a la patilla del chip-corder, y los otros dos van uno a la alimentación de 5V y el otro al plano de masa.

El interruptor dispone de dos agujeros para fijarlo mediante tornillos M2. La parte visible irá pintada con el mismo color que tiene la interfaz, así como también los tornillos.

f. Leds

Son leds comunes de 5mm que se conectarán en los 4 pares de zócalos situados en la parte superior izquierda (Figura 3.116). En la interfaz irán encajados a presión (Figura 3.126).

En la imagen 3.126 se observa el resultado final con todos los componentes citados anteriormente colocados.



Figura 3. 126: Vista superior de la interfaz

3.2.4. Consumo del Sistema

Para calcular la duración de la batería, se ha computado en una ejecución del sistema sin activar interrupciones. Es decir, contará los seis segundos iniciales, luego comenzará la fase de presentación de actividades y después la ronda de preguntas, girando el cubo cuando sea oportuno. Se supone que no se pulsará ningún interruptor en toda la ejecución del programa. Por tanto, este es el desglose de tiempos:

REPOSO			
Descripción	Tiempo (s)	Unidades	Tiempo total (s)
Espera inicial	6	1	6
Espera después de cada mensaje en la presentación	2	5	10
Espera después de cada mensaje en la fase de preguntas	2	4	8
Espera del tiempo de reacción para pulsar algún interruptor	5	4	20
Espera después de cada giro del cubo	2	8	16
Espera para el apagado automático	360	1	360
Tiempo total			420
GIROS			
Descripción	Tiempo (s)	Unidades	Tiempo total (s)
Duración del giro	4	8	32
Tiempo total			32
REPRODUCCIÓN			
Descripción	Tiempo (s)	Unidades	Tiempo total (s)
Duración del mensaje	5	9	45
Tiempo total			45

Tabla 10: Desglose de tiempos de ejecución en el sistema

La corriente que suministra la batería en cada caso es la siguiente:

Reposo 200mA

A pesar de estar en reposo, el chip-grabador con su circuitería asociada, consume 120mA si el selector está en PLAY y 50 mA si está en REC. Durante el funcionamiento normal, el interruptor selector debe de estar en PLAY para su correcto funcionamiento. El resto del consumo se divide en el demultiplexor que activa el led que queda encendido (unos 50mA) y el consumo de los microcontroladores 8051 así como los elementos pasivos que completan los circuitos.

Reproducción de mensajes 430mA

Durante este tiempo de reproducción se activa el amplificador de audio y el chip-grabador está consume más puesto que se activa su salida de audio hacia el amplificador.

Giros del cubo 880mA

En el momento de girar, se activa el motor que consume 550 mA por fase, dejando de consumir corriente al girar 90°.

Con estos datos se calcula el consumo medio durante el tiempo que ocupan estas tres actividades:

$$\text{Consumo medio} = \frac{200mA \cdot 420s + 430mA \cdot 32s + 880mA \cdot 45s}{420 + 32 + 45 \text{ s}}$$

$$\text{Consumo medio} = \frac{137,36}{497} = 276 \text{ mA}$$

Teniendo en cuenta que la batería tiene una capacidad de 2,2 Ah:

$$\text{Duración batería} = \frac{2,2A \cdot 1h}{276mA} = 7,96 \text{ h}$$

La duración de la batería también depende mucho de si se apaga el sistema o se deja que se apague automáticamente. Si del cálculo anterior, se quitase el tiempo de 6 minutos de espera hasta que se apaga, se tendría un consumo medio de 477 mA y una duración de la batería de **4,61 h**. El tiempo de duración es menor, pero en este segundo caso se podría ejecutar el sistema **121 veces** mientras que en primer caso sólo serían **57 veces**, algo menos de la mitad, ya que si se suma todos los tiempos de espera para el apagado automático, da un total de 5,7 horas, quedando así 2,26 horas de “funcionamiento normal”.

PLACA 4, ANEXA A LA PLANTA 3

Dispone de una batería de 3V que proporciona 75mAh. Suponiendo que cada vez que se active algún pulsador, sea por un tiempo aproximado de 1 segundo, y teniendo en cuenta lo que consume el circuito, se puede calcular la duración de la pila

El circuito consume 81,81mA y la pila tiene una capacidad de 75mAh. Una hora son 3600 segundos por lo tanto:

$$\text{tiempo de duración} = \frac{75mA \cdot 3600}{81,81mA} = 3300 \text{ segundos}$$

Si consideramos la duración de activar alguno de los pulsadores de 1 segundo, se obtiene 3300 veces que se puede pulsar. Si cada vez que se ejecuta el programa en modo 2 se pulsa una media de 2 veces se obtiene que se puede ejecutar 1650 veces.

Suponiendo un uso medio del cubo de 2 veces al día durante todo el año:

$$\text{Uso del cubo} = 365 \cdot 2 = 730 \text{ veces/año}$$

$$\text{Duración pila} = \frac{1650}{730} = 2,26 \text{ años}$$

La pila tendrá una duración media de algo más de 2 años y 3 meses haciendo al
subsistema muy autónomo.

Capítulo 4

Resultados de operación

Los resultados obtenidos son bastante buenos, ya que al usuario final se le ha enseñado el proyecto definitivo y ha quedado bastante satisfecho, ya que las peticiones y especificaciones que se pidieron para el proyecto se han cumplido, implementado y funcionan correctamente.

El cubo se ha colocado en su sistema de sujeción con el brazo fotográfico y se enciende con el interruptor alojado en la base (Figura 4.1).

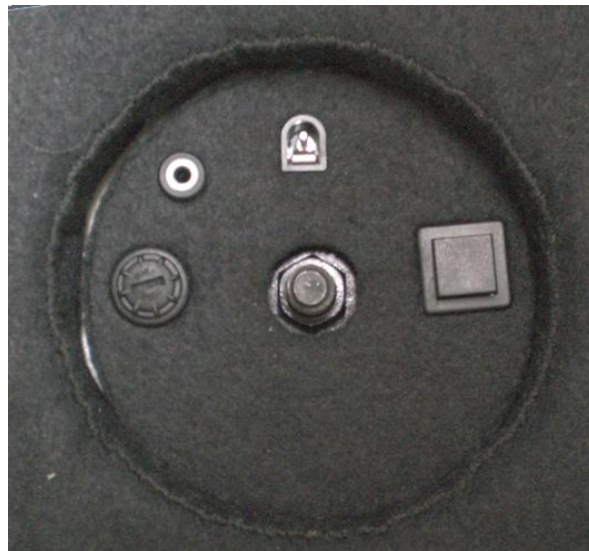


Figura 4. 1: Base del cubo

Durante los 6 segundos iniciales de espera se puede cambiar el tiempo de reacción que tendrá el niño desde que se emite el mensaje hasta que el cubo gire para mostrar la siguiente cara. En la Figura 4.2, se ve cómo va cambiando el tiempo de reacción pulsando el interruptor TIEMPO.

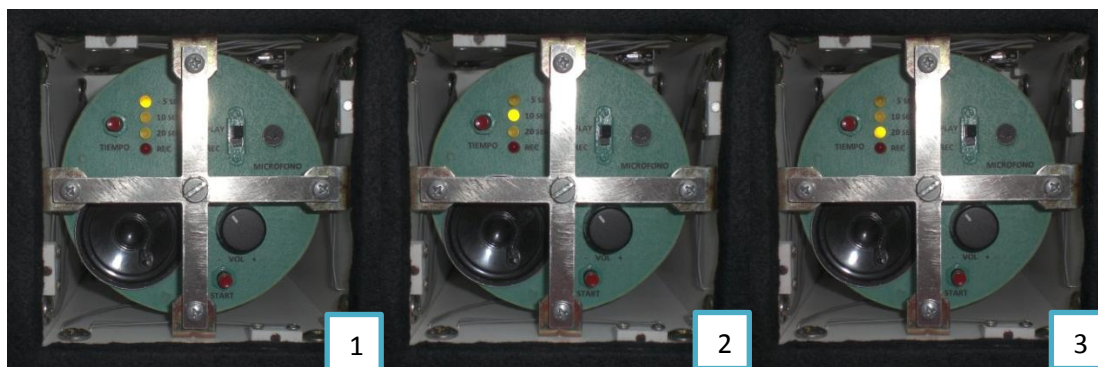


Figura 4. 2: Selección de tiempo: 1. 5 segundos; 2. 10 segundos; 3. 20 segundos

Una vez pasado 6 segundos iniciales el cubo hace una presentación de las actividades tal y como se ve secuencialmente en la Figura 4.2. Muestra una cara, emite el mensaje de voz y 2 segundos más tarde gira a la siguiente cara y repite el proceso:



Figura 4. 3: Presentación de actividades: 1. Cara 1-Pelota; 2. Cara 2-Gusanitos; 3. Cara 3-Coche; 4. Cara 4-Música

Tras la presentación girará el cubo nuevamente para colocarse en la cara 1 y preguntar en cada cara si se desea hacer la acción que muestra. Pasado un tiempo si no se ha activado ningún pulsador, el cubo gira para repetir el proceso con la siguiente cara.

Este es el funcionamiento básico que querían obtener en el colegio San Rafael, pero para esto hay que grabar los mensajes que se emiten en cada momento.

Al encender el cubo, se pulsa el interruptor START y el cubo podrá empezar a grabar y reproducir los mensajes.

Cambiando el interruptor deslizante podremos reproducir o grabar los mensajes pulsando seguidamente el botón START (Figura 4.4).

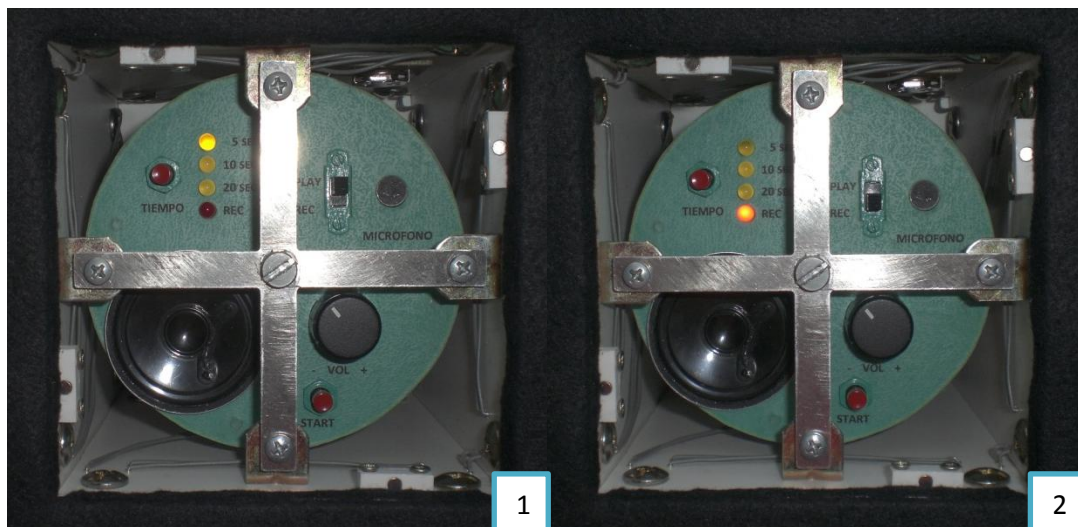


Figura 4. 4: 1. Modo de grabación; 2. Modo de reproducción

Capítulo 5

Conclusiones y trabajos futuros

Una vez terminada la implementación del diseño, realizados los cambios y mejoras en el mismo, y realizadas las pruebas pertinentes para comprobar el correcto funcionamiento del conjunto, se ha podido comprobar que el prototipo funciona según los objetivos fijados.

No obstante, a lo largo del proceso de fabricación e implementación se han ido encontrando detalles que mejorarían el resultado del producto.

FABRICACIÓN DE PIEZAS DE ALUMINIO

El coste de fabricación de estas piezas es elevado, por lo que ayudaría encontrar un material que fuera de características similares, pero de menor coste.

Además, los planos que diseñados para las piezas por parte de la autora, se deberían de cambiar. El aspa y el eje se unen mediante un tornillo. Esa unión se debería de cambiar ya que ha habido problemas a la hora de poner a funcionar el cubo, ya que por el peso que tiene la parte móvil, al girar en sentido horario visto desde arriba, el aspa se desenroscaba del cubo, por eso el cubo gira en sentido antihorario. De todas formas ha habido que fijar con pegamento de soldadura plástica el aspa y el eje, ya que al golpear la cara lateral del cubo en el borde derecho, se desenroscaba también.

CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

A pesar de que todo funciona correctamente, una mejora sería implementar los circuitos con componentes SMD para reducir el espacio de los circuitos internos. De esta forma también se podría implementar un microcontrolador 8051 de 40 pines SMD con mayor memoria para

poder controlar todo el sistema. Al tener mayor número de pines también se podría sustituir los leds que muestran el tiempo de reacción y el grupo de mensajes cuando se graba/reproduce, por un display de 7 segmentos.

Además, el interruptor deslizante que activa en el chip-grabador la acción de grabar o reproducir, ya que se dispondría de más pines en el 8051, lo conectaría al micro y una de las salidas al chip-grabador, ya que actualmente, si por un descuido se deja el interruptor en posición de grabar, durante el funcionamiento normal no solo no se escucharán los mensajes sino que se grabará encima.

Capítulo 6

Presupuesto

En el estudio económico que se presenta a continuación se resumen los costes del diseño e implementación del proyecto. En él se incluyen los costes del material y personal.

COSTE DE MATERIAL

En la siguiente tabla se detalla los componentes utilizados en el proyecto, la medición de elementos necesarios, su precio unitario y el precio total.

Descripción	Unidad	Medición	Precio Unitario	Precio Total
CAPÍTULO I: CONSTRUCCIÓN MECÁNICA				
Subcapítulo I: Tornillería				
Tornillo M2x5mm Tornillo de rosca métrica M2 y longitud de 5 mm en acero inoxidable.	Ud.	4	0,03 €	0,12 €
Tornillo M2,5x5mm Tornillo de rosca métrica M2,5 y longitud de 5 mm en acero inoxidable.	Ud.	12	0,03 €	0,36 €
Tornillo M2,5x10mm Tornillo de rosca métrica M2,5 y longitud de 10 mm en acero inoxidable.	Ud.	12	0,03 €	0,36 €
Tornillo M3x6mm Tornillo de rosca métrica M3 y longitud de 6 mm en acero inoxidable.	Ud.	2	0,03 €	0,06 €
Tornillo M3x9mm Tornillo de rosca métrica M3 y longitud de	Ud.	2	0,03 €	0,06 €

9 mm en acero inoxidable.				
Tornillo M3x14mm Tornillo de rosca métrica M3 y longitud de 14 mm en acero inoxidable.	Ud.	2	0,03 €	0,06 €
Tornillo M3x18mm Tornillo de rosca métrica M3 y longitud de 18 mm en acero inoxidable.	Ud.	4	0,03 €	0,12 €
Tornillo M4x15mm Tornillo de rosca métrica M4 y longitud de 15 mm en acero inoxidable.	Ud.	4	0,03 €	0,12 €
Tornillo M6x25 mm Tornillo de rosca métrica M6 y longitud de 25 mm en acero inoxidable.	Ud.	1	0,04 €	0,04 €
Tornillo hexagonal Tornillo hexagonal de hierro de rosca Whitworth 3/8 y longitud de 30mm.	Ud.	1	1,50 €	1,50 €
Tuerca Whitworth 3/8 Tuerca Whitworth 3/8 de acero inoxidable.	Ud.	1	0,60 €	0,60 €
Tuerca M3 Tuerca de rosca métrica M3 de acero inoxidable.	Ud.	7	0,04 €	0,28 €
Tuerca M4 Tuerca de rosca métrica M4 de acero inoxidable.	Ud.	32	0,04 €	1,28 €
Tirafondo 4x20mm Tirafondo de rosca de 4 mm y longitud 20 mm en acero endurecido.	Ud.	16	0,03 €	0,48 €
Tirafondo 4x15mm Tirafondo de rosca de 4 mm y longitud 15 mm en acero endurecido.	Ud.	8	0,03 €	0,24 €
Tirafondo 3x15mm Tirafondo de rosca de 3 mm y longitud 15 mm en acero endurecido.	Ud.	8	0,03 €	0,24 €
Tirafondo 3x12mm Tirafondo de rosca de 3 mm y longitud 12 mm en acero endurecido.	Ud.	8	0,03 €	0,24 €
Total Subcapítulo I				6,16 €
Subcapítulo 2: Materiales				
Plancha de PVC 10mm Plancha de PVC expandido Multicel de 10 mm de grosor 1000x500 mm.	Ud.	1	25,95 €	25,95 €
Plancha de PVC 6mm Plancha de PVC expandido Multicel de 6 mm de grosor 1000x500 mm.	Ud.	1	21,45 €	21,45 €
Filtro de bricolaje 90cm Tela de fieltro negra de 90 cm de ancho.	m	0,5	9,58 €	4,79 €
Bobina hilo negro Bobina de hilo de poliéster negro de 100 m de longitud.	Ud.	1	1,80 €	1,80 €

Cinta de velcro adhesivo Cinta de velcro adhesivo de 20 mm de ancho.	m	2	4,70 €	9,40 €
Cremallera 20 cm Cremallera negra de 20 mm con cierre no divisible de material sintético con espiral (2 mm).	Ud.	1	1,50 €	1,50 €
Espuma poliéster 14 mm de grosor. 72 cm Espuma de tapicero de poliéster de 14 mm de grosor y 72 cm de ancho.	m	0,5	2,15 €	1,08 €
Espuma poliéster 10 mm de grosor. 72 cm Espuma de tapicero de poliéster de 14 mm de grosor y 72 cm de ancho.	m	0,5	2,15 €	1,08 €
Fundas de plástico Fundas de plástico para CD de 127x130 mm.	Ud.	4	0,10 €	0,40 €
Separadores 30 mm Separadores de 80mm diámetro con tope en un lateral y un tornillo M6 haciendo tope en el lateral opuesto.	Ud.	20	0,90 €	18,00 €
Escuadras Escuadras metálicas de 2 cm de lado con un orificio en cada extremo	Ud.	4	0,20 €	0,80 €
Imán de neodimio Imán de neodimio en forma de disco de 4 mm de diámetro y 2 mm de altura.	Ud.	4	0,23 €	0,92 €
Tira de muelle Tira de muelle de acero de longitud 1 m de 1.1mm de hilo. Paso normal.	Ud.	1	21,24 €	21,24 €
Rotulador UNI PAINT MARKER PX-20 Rotulador de pintura permanente verde.	Ud.	1	3,35 €	3,35 €
Piezas de aluminio Eje solidario al del motor y aspa que se une al eje mediante un tornillo.	Ud.	1	307,98 €	307,98 €
Cable unifilar rígido Hilo de conexión de 0,28 mm ² .	m	5	0,21 €	1,05 €
Separador M2,5x10mm Separador hexagonal en acero cincado con roscado interior M2,5.	Ud.	12	0,17 €	2,06 €
Separador M3x40mm Separador hexagonal en acero cincado con roscado interior M3 con 10mm de longitud en cada extremo.	Ud.	2	0,48 €	0,96 €
Tackceys Crick velcro Cinta adhesiva de fijación tipo velcro	Ud.	1	5,95 €	5,95 €
Placas PCB Fabricación de circuito impreso PCB para conexionado de los elementos eléctricos.	Ud.	4	5,00 €	20,00 €
Total subcapítulo II				449,75 €
TOTAL CAPÍTULO I				455,91 €

Descripción	Unidad	Medición	Precio Unitario	Precio Total
CAPÍTULO II: CONSTRUCCIÓN ELECTRÓNICA/ELÉCTRICA				
Subcapítulo I: Componentes				
Zócalo, 20 vías Tira de zócalo SIL pin torneado, 20 vías	Ud.	5	0,63 €	3,16 €
Pulsador momentáneo 4 pin Pulsador momentáneo de 4 pines conectados dos a dos.	Ud.	20	0,35 €	7,00 €
Interruptor momentáneo SPDT Interruptor negro SPDT con 3 pines de soldadura.	Ud.	1	2,16 €	2,16 €
Conector batería Conector para el cargador de la batería de bajo voltaje con 2,1 mm de diámetro del pin.	Ud.	1	0,60 €	0,60 €
Portafusible de 5x20mm Portafusible con cierre a rosca.	Ud.	1	1,51 €	1,51 €
Fusible Fusible cilíndrico 5x20mm con corriente nominal de 1 A.	Ud.	1	1,84 €	1,84 €
Conector Jack Conector hembra para jack de 3,5mm con 2 polos.	Ud.	1	1,58 €	1,58 €
Bloque terminal de 2 vías para PCB Bloque terminal de fijación mediante tornillo con 2 vías independientes. Soldadura de agujero pasante.	Ud.	12	0,28 €	3,36 €
Disipador de calor Disipador para encapsulado TO-220 a 30°C/W.	Ud.	1	1,49 €	1,49 €
Li-Ion Batería recargable Li-Ion Batería recargable de 7,5V y 2,2Ah.	Ud.	1	32,16 €	32,16 €
Li-Ion cargador Li-Ion cargador de 8,4V y 1,1 A.	Ud.	1	49,86 €	49,86 €
Cable de red eléctrica Cable de red eléctrica de 2m con conexión europea para el cargador.	Ud.	1	3,25 €	3,25 €
Motor paso a paso Motor de 7.5deg de paso con caja reductora 25:1. Alimentación a 5Vdc.	Ud.	1	61,10 €	61,10 €
Relé Relé con configuración SPDT para soldar en PCB. Alimentación de la bobina a 5Vdc.	Ud.	1	0,76 €	0,76 €
TIC106M Tiristor con 5 A de corriente máxima. Encapsulado TO-220.	Ud.	1	2,13 €	2,13 €
L78S05CV Regulador lineal tensión a 5Vdc con una corriente máxima de 2 A. Encapsulado TO-	Ud.	1	0,85 €	0,85 €

Presupuesto

220.				
1N4148 Diodo pequeña señal.	Ud.	7	0,07 €	0,49 €
2N2222 Transistor NPN. $V_{CE_{MAX}} = 40V$, $I_{C_{MAX}} = 0,6 A$. Encapsulado TO18.	Ud.	1	0,54 €	0,54 €
Resistencias 1/4 W Resistencias de diversos valores. Montaje de agujero pasante.	Ud.	34	0,04 €	1,36 €
Condensador electrolítico 10uF Condensador cilíndrico electrolítico de tensión máxima 63V. Montaje de agujero pasante.	Ud.	1	0,144 €	0,14 €
Condensador 100nF Condensador de película de tensión máxima 63V. Montaje de agujero pasante.	Ud.	1	0,11 €	0,11 €
Condensador tantalio 1uF Condensador de tantalio de tensión máxima 35V. Montaje de agujero pasante.	Ud.	2	0,69 €	1,38 €
Condensador tantalio 0,1uF Condensador de tantalio de tensión máxima 50V. Montaje de agujero pasante.	Ud.	5	0,40 €	2,00 €
Condensador electrolítico 220uF Condensador cilíndrico electrolítico de tensión máxima 50V. Montaje de agujero pasante.	Ud.	1	0,38 €	0,38 €
Condensador electrolítico 4,7uF Condensador cilíndrico electrolítico de tensión máxima 63V. Montaje de agujero pasante.	Ud.	1	0,14 €	0,14 €
Condensador electrolítico 10uF Condensador cilíndrico electrolítico de tensión máxima 63V. Montaje de agujero pasante.	Ud.	1	0,144 €	0,144 €
Condensador electrolítico 22uF Condensador cilíndrico electrolítico de tensión máxima 63V. Montaje de agujero pasante.	Ud.	1	0,155 €	0,155 €
Condensador electrolítico 0,47uF Condensador cilíndrico electrolítico de tensión máxima 100V. Montaje de agujero pasante.	Ud.	2	0,30 €	0,60 €
SPX0019082 Oscilador de cristal de 24MHz de soldadura superficial.	Ud.	2	3,19 €	6,38 €
Led Diodo Led 5mm.	Ud.	4	0,13 €	0,52 €
Potenciómetro 250KOhm Potenciómetro 24 mm Guitar,250K	Ud.	1	4,37 €	4,37 €
TSUS4400	Ud.	1	0,25 €	0,25 €

Presupuesto

Diodo Led Infrarrojo de 950nm.				
BPV22F Fotodiodo Infrarrojo.	Ud.	4	0,81 €	3,24 €
Micrófono Micrófono Electret.	Ud.	1	1,20 €	1,20 €
Altavoz Altavoz Visaton K50 8Ohm	Ud.	1	1,51 €	1,51 €
Portabaterías de 16 mm Soporte para pila de botón de 16mm para montaje con agujero pasante	Ud.	1	0,53 €	0,53 €
Pila 16 mm Pila botón de 16 mm. 3Vdc 75 mAh.	Ud.	1	1,78 €	1,78 €
Mando estriado Mando estriado para ejes de 6 mm, con 20 mm diámetro.	Ud.	1	2,15 €	2,15 €
Interruptor deslizante, SPDT Interruptor deslizante con configuración SPDT y contactos de soldadura.	Ud.	1	1,37 €	1,37 €
Interruptor momentáneo SPNO Interruptor momentáneo con configuración SPNO y contactos de soldadura.	Ud.	2	0,63 €	1,26 €
Total Subcapítulo I				204,81 €
Subcapítulo II: Circuitos Integrados				
Microcontrolador AT89C2051 2K Microcontrolador 8051 en encapsulado DIP20 con 2KB de memoria flash.	Ud.	1	2,96 €	2,96 €
Microcontrolador AT89C4051 4K Microcontrolador 8051 en encapsulado DIP20 con 4KB de memoria flash.	Ud.	1	3,06 €	3,06 €
ULN2064 Driver de potencia en encapsulado DIP16.	Ud.	1	2,04 €	2,04 €
ISD25120P Chip grabador reproductor con una duración de 120 segundos con mensajes direccionables. Alimentación a 5Vdc.	Ud.	1	37,45 €	37,45 €
SN74HC139N Demultiplexor 2x4.	Ud.	1	0,55 €	0,55 €
LM4871M Amplificador de Audio en encapsulado SMD con alimentación a 5Vdc	Ud.	1	1,18 €	1,18 €
Total Subcapítulo II				47,24 €
TOTAL CAPÍTULO II				252,05 €

Capítulo	Precio Total
Capítulo I	455,91 €
Capítulo II	252,05 €
Total Proyecto	707,96 €

COSTE DE PERSONAL

Para estimar los costes de personal se ha tomado como referencia los costes por hora de trabajadores adscritos a un proyecto en la Universidad Carlos III de Madrid. A continuación se muestran estos costes en función de la categoría:

Ingeniero Técnico Industrial en Electrónica.....20 €/hora
 Secretario.....10 €/hora

Las cargas sobre los salarios son las siguientes:

Seguridad social.....27%
 Desempleo.....1,55%
Formación profesional.....0,1%
 Total.....28,65%

Los gastos totales de personal son los siguientes, en función del número de horas dedicadas a cada tarea:

TAREA	NÚMERO DE HORAS	COSTE/HORA	TOTAL
Diseño y pruebas	960 h	25,73 €	24.700,80 €
Documentación	100 h	12,86 €	1.286,50 €
COSTE TOTAL DE PERSONAL			25.987,30 €

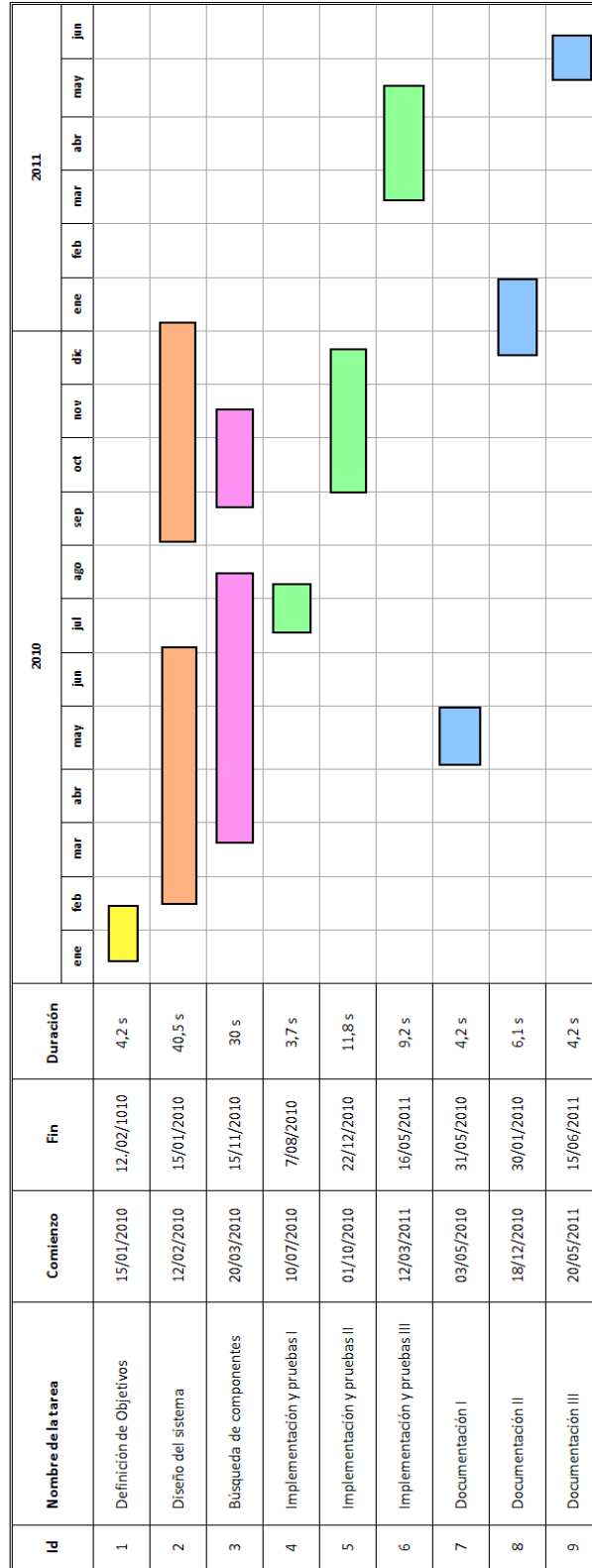
El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de 26695,26 € VEINTISEIS MIL SEISCIENTOS NOVENTA Y CINCO EUROS, CON VEINTISEIS CÉNTIMOS.

Leganés a 17 de Junio de 2011

El ingeniero proyectista

Fdo. María Luisa Zayas de Diego

A continuación encontramos el diagrama de Gantt real que ha seguido el desarrollo del presente proyecto.



Referencias

Referencias

- [1] Catalogo PVC Multicel [02 de diciembre 2010]
<http://www.sedpa.com/upload/produit/es/multicel---es.pdf>
- [2] Manfrotto [25 de Febrero de 2010]
http://www.manfrotto.com/product/0/143RC/_/Magic_Arm_With_Quick_Release_Plate
- [3] Tutorial sobre motores paso a paso [10 de Mayo de 2010]
<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>
- [4] Proyecto electrónico de grabador digital de mensajes [2 de Agosto de 2010]
<http://www.electronics-project-design.com/Digital-Electronics-Project.html>
- [5] Intensidad de sonido de diferentes fuentes [12 de Julio de 2010]
http://www.asifunciona.com/tablas/intensidad_sonidos/intensidad_sonidos.htm
- [6] Micrófono Electret [19 de Septiembre de 2010]
http://es.wikipedia.org/wiki/Micr%C3%B3fono_electret
- [7] Diseño para Todos [12 de Enero de 2010]
<http://www.sidar.org/recur/enla/index.php#disca>

Bibliografía

- [8] M.A. PÉREZ GARCÍA; J.C. ÁLVAREZ ANTÓN; J.C. CAMPO RODRÍGUEZ; F.J. FERRERO MARTÍN; G.J. GRILLO ORTEGA. *Instrumentación Electrónica*. 2ª ed. Madrid: Thomson - Paraninfo, 2006. ISBN: 84-9732-166-9 [21 de Octubre de 2010]
- [9] A.P.MALVINO. *Principios de Electrónica*. 6ª ed. Madrid: Mc Graw Hill, 1999. ISBN: 84-481-2568-1 [20 de Marzo de 2010]
- [10] J.A. FIDALGO; M.R. FERNÁNDEZ. *Física General*. 5ª ed. León: Everest, 1993. ISBN: 84-241-7600-6. pp: 168-174. [20 de Abril de 2010]
- [11] BERNARD ODANT. *Microcontroladores 8051 y 8052*. 1ª ed. Madrid: Paraninfo, 1995. ISBN: 84-283-2188-4 [24 de Mayo de 2010]

Hojas de catalogo

- AT89C2051
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc0368.pdf
- ULN2064
<http://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/25574/STMICROELECTRONICS/ULN2064.html>
- ISD25120
<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/dosyalar/6/ISD2560.pdf>
- TIC106M
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/20132/POINN/TIC106M.html>
- L78S05CV
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXwqxq.pdf>
- SPXO019082
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/03d2/0900766b803d272b.pdf>
- SN74HC139N
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/6/0efu8ff4ki6ff50lh1t085t88y7y.pdf>
- LM4871M
<http://www.national.com/ds/LM/LM4871.pdf>
- TSUS4400
<http://www.vishay.com/docs/81054/tsus4400.pdf>
- BPV22F
<http://www.vishay.com/docs/81508/bpv22f.pdf>

Anexo A

Programación AT89C2051

A.1. Programa en lenguaje C

```
#include <REG2051.h>
#include <stdio.h>

#define TIME_TH 0x97
#define TIME_TL 0xd5 //13.33 ms
#define On_Off P3_7

int girar;
int paso;
int cuenta=0;

void interrup0_sonido(void) interrupt 0    //cuenta 30 ms
{
    TH0=TIME_TH;
    TL0=TIME_TL;
    TR0=1;
    girar=1;
    paso=1;
}

void timer0_temp(void) interrupt 1
{
    TH0=TIME_TH;
    TL0=TIME_TL;
    if(cuenta!=300)
    {
        switch(paso)
        {
```

```

    case 1:
        P1=0x0C; //001100
        break;
    case 2:
        P1=0x18; //011000
        break;
    case 3:
        P1=0x30; //110000
        break;
    case 4:
        P1=0x24; //100100
        paso=0;
        break;
    }
    paso++;
    cuenta++;
}
else
{
    IE1=0;
    EX1=1;
    girar=0;
    P1=0x00;
}
}

void timer1_temp(void) interrupt 3
{
    TH1=TIME_TH;
    TL1=TIME_TL;

    if (cuenta!=300)
    {
        cuenta++;
    }
    else
    {
        girar=0; // a partir de este momento el cubo puede ser apagado
        TR1=0;
    }
}

void main (void)
{
    On_Off=0;
    IE=0x8F; //habilita la interrupción del timer0, timer 1; INT0 y de INT1
    TCON=0x01; //Detecta INT0 por nivel 0
    TMOD=0x11; // Modo 1 del timer0 y timer 1
    P1=0x00;
    girar=1;
    TH1=TIME_TH;
    TL1=TIME_TL;
    TR1=1;

    while(1)
    {
        if (girar==0) //de esta forma el cubo nunca puede ser apagado si está girando

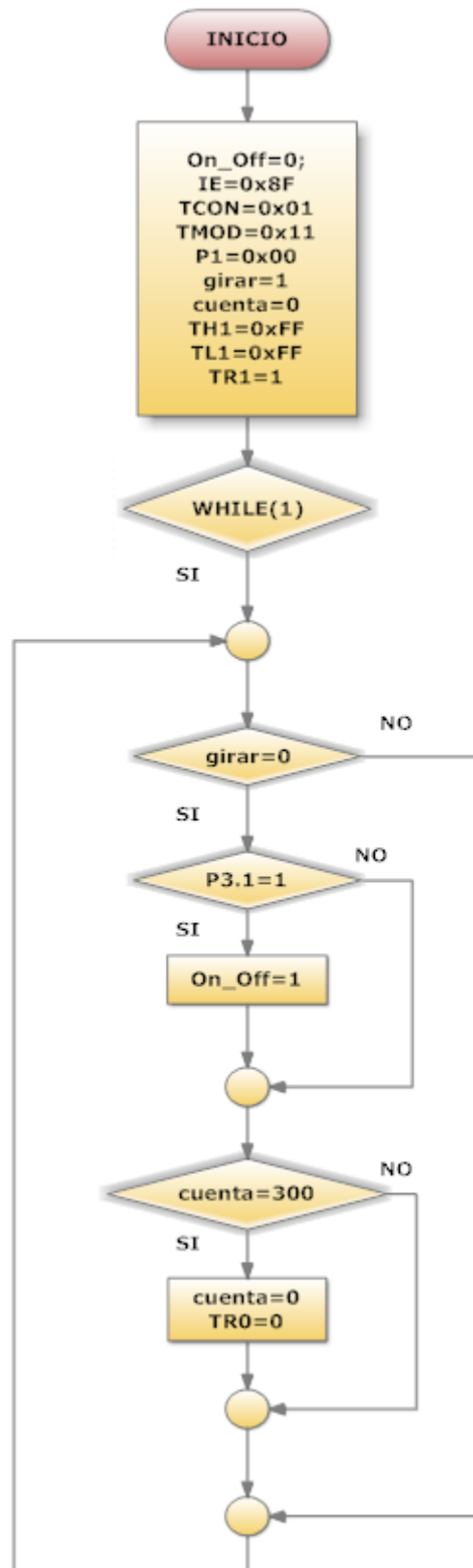
```

Anexo A

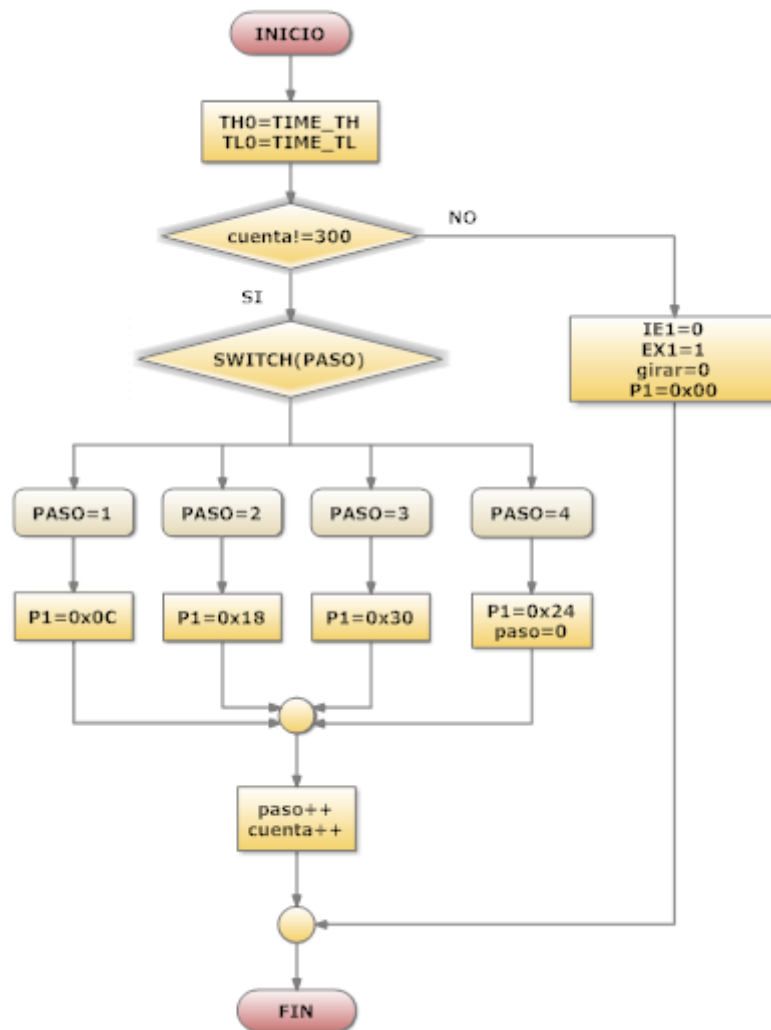
```
{  
  if(P3_1==1)  
    On_Off=1;  
  
  if(cuenta==300)  
  {  
    cuenta=0;  
    TR0=0;  
  }  
}  
}  
}
```

A.2. Diagramas de flujo

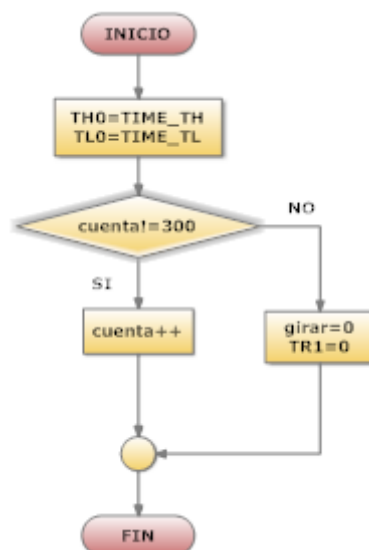
a. Main Program



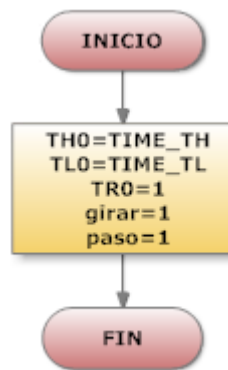
b. Timer 0



c. Timer 1



d. Interrupción INTO



Anexo B

Programación AT89C4051

B.1. Programación en lenguaje C

```
#include <REG2051.h>
#include <stdio.h>

#define TIME_TH 0x63
#define TIME_TL 0xBF //20ms

#define P_R    P1_4    //Selecciona si graba o reproduce
#define CE     0x80    //activa en el ISD25120 la grabación o reproducción
#define AMPLI  P3_0
#define ON_OFF P3_1
#define MTR    P3_7
#define N      12      //número total de mensajes
#define Start  P1_7    //Start=CE

int cuenta;
int modo;
int espera;
int pulso;
int LEDS;
int msj;
int t_reac;
int cambio;
int play;
int girar;
int conteo;
int repetir;
int giro;
```

```
int timer;
int vuelta;

void tiempo (t)
{
    cuenta=t;
    conteo=0;
    TH0=TIME_TH;
    TL0=TIME_TL;
    TR0=1;
}

void reproducir(void)
{
    P1=CE+LEDS+msj;
    if (msj<8)
    {
        if (repetir==0)
            tiempo(350+t_reac);
        else
            tiempo(350);
    }
    else
        tiempo(350);
}

void motor(void)
{
    MTR=0;
    girar=0;
    EX1=0;
    tiempo(300);
    conteo=1;
}

void interrup0_start(void) interrupt 0
{
    switch(modo)
    {
        case 0:
            modo=1;
            espera=1;
            tiempo(50);
            ET1=0;
            break;

        case 1:
            tiempo(250);
            if (play==1)
                AMPLI=0;

            P1=LEDS+msj;
            cambio=0;

            if(msj==0)
            {
                msj=N;
                vuelta =1;
            }
    }
}
```

```
    }
    else
        msj--;

    espera=0;
    break;

case 3:
    tiempo(300);
    espera=0;
    EX1=0;
    if(msj==3)
    {
        giro=0;
    }
    else
        giro=msj+1;
    break;

default:
    break;
}
EX0=0;
}

void interrup1_pulsadores(void) interrupt 2
{
    if (repetir==0)
    {
        msj++;
        switch(msj)
        {
            case 7:
                msj=3;
                break;
            case 6:
                msj=2;
                break;
            case 5:
                msj=1;
                break;
            case 4:
                msj=0;
                break;
        }
        repetir=1;
        girar=0;
    }
    EX1=0;
    modo=2;
    reproducir();
}

void timer0_temp(void) interrupt 1
{
    if(cuenta==conteo)
    {
        TR0=0;
        switch (modo)
```

```
{
case 0:
  espera=1;
  if(timer==1)
  {
    TF1=0;
    ET1=1;
    timer=0;
  }
  else
  {
    ET1=0;
    EX0=0;
    conteo++;
    modo=2;
  }
  break;

case 1:
  IE0=0;
  EX0=1;
  Start=1;
  AMPLI=1;
  espera=1;
  break;

case 2:
  if(repetir==0)
  {
    if(girar==1)
      motor();
    else
    {
      if(msj!=3)
        espera=1;
      else
      {
        tiempo(18000);
        modo=3;
        IE0=0;
        EX0=1;
      }
    }
  }
  else
  {
    modo=3;
    tiempo(18000);
    IE1=0;
    IE0=0;
    EX1=1;
    EX0=1;
  }
  break;

case 3:
  if(conteo==18000)
    ON_OFF=1;
  else
```

```
        espera=1;
        break;
    }
}
else
{
    if (modo==2)
    {
        if(conteo==0)
        {
            Start=0;
            AMPLI=0;
        }
        else
        {
            Start=1;
            if(conteo==250)
                AMPLI=1;
        }
    }

    if (play==1)
    {
        Start=1;
    }

    MTR=1;
    conteo++;
}
TH0=TIME_TH;
TL0=TIME_TL;
}

void timer1_tiempo(void) interrupt 3
{
    if(pulso==3)
    {
        LEDS=0x40;
        t_reac=1000;
        pulso=1;
    }
    else
    {
        if(pulso==2)
        {
            LEDS=0x20;
            t_reac=500;
        }
        else
        {
            LEDS=0x60;
            t_reac=250;
        }
        pulso++;
    }
    P1=CE+LEDS+msj;
    espera=0;
    ET1=0;
    tiempo(25);
}
```

```
    timer=1;
}

void main (void)
{
    ON_OFF=0;
    IE=0x8B;//habilita la interrupción del timer0, timer 1 y de INTO
    TCON=0x45; //Habilita Timer1 y detecta INTO e INT1 por flanco de bajada
    TMOD=0x61; // Modo 1 del timer0 como temporizador y modo 2 timer1 como contador
    P1=0xEC;
    LEDS=0x60;
    msj=12;
    TH1=0xFF;
    TL1=0xFF;
    modo=0;
    t_reac=250;
    pulso=2;
    repetir=0;
    giro=0;
    espera=1;
    timer=0;
    vuelta=0;

    while(1)
    {
        while(espera==1)
        {
            switch (modo)
            {
                case 0:
                    tiempo(300);
                    espera=0;
                    break;

                case 1:
                    if(msj<4)
                        LEDS=0x40;
                    else
                    {
                        if(msj>7)
                            LEDS=0x60;
                        else
                            LEDS=0x20;
                    }

                    if(P_R==0)    //grabar
                    {
                        play=0;
                        P1=CE+msj;
                    }
                    else        //reproducir
                    {
                        play=1;
                        P1=CE+LEDS+msj;
                    }
                    espera=0;
                    break;

                case 2:
```

```
        if(msj!=12)
        {
            if(msj>3)
                girar=1;
            else
                girar=0;
        }

        if (msj<8)
        {
            IE1=0;
            EX1=1;
        }
        reproducir();
        espera=0;
        msj--;
        break;

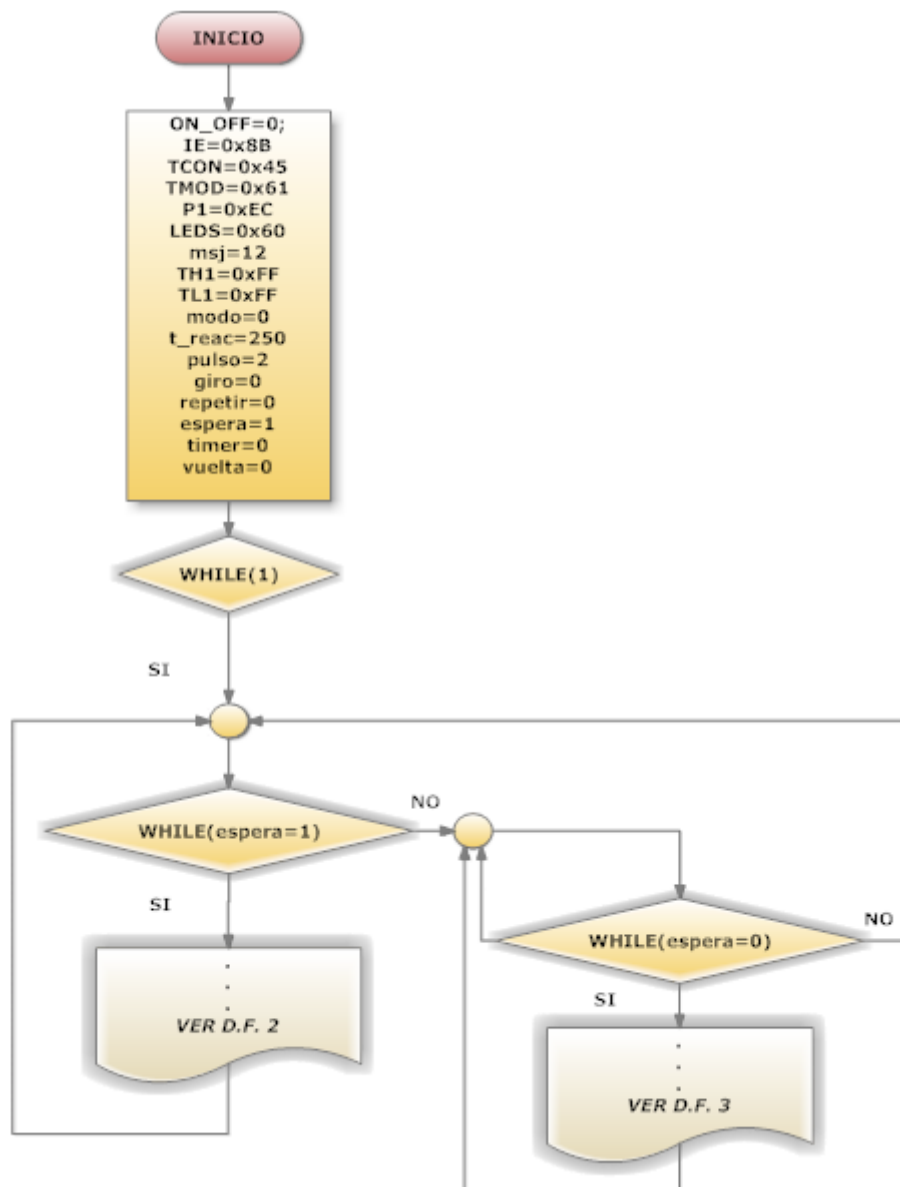
    case 3:
        if(giro>0)
        {
            motor();
            giro--;
            espera=0;
            girar=1;
        }
        else
        {
            modo=0;
            msj=7;
            repetir=0;
            girar=0;
            ET1=1;
        }
        break;
    }
}
while (espera==0)
{
    if(modo==1)
    {
        if(P_R!=play)
        {
            if(msj!=12)
            {
                if(msj!=0)
                {
                    if(cambio==1)
                    {
                        cambio=0;
                        msj--;
                    }
                    else
                    {
                        cambio=1;
                        msj++;
                    }
                }
            }
        }
        else
    }
```

Anexo B

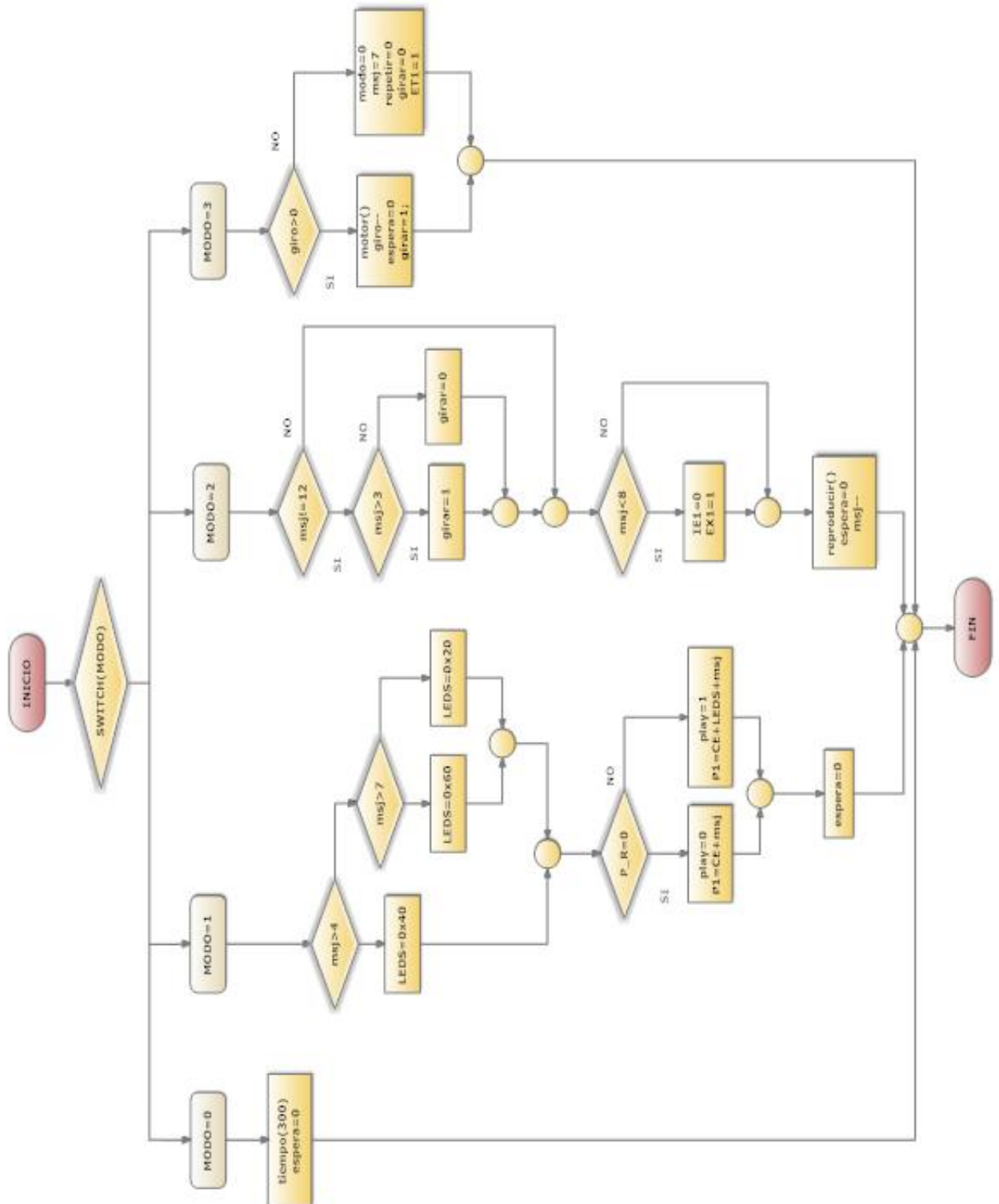
```
        {
            msj=N;
        }
    }
    else
    {
        if(vuelta==1)
        {
            msj=0;
        }
    }
    espera=1;
}
} //fin del if(modulo)
} // fin while espera=0
} //fin bucle infinito
} //fin main
```

B.2. Diagramas de flujo

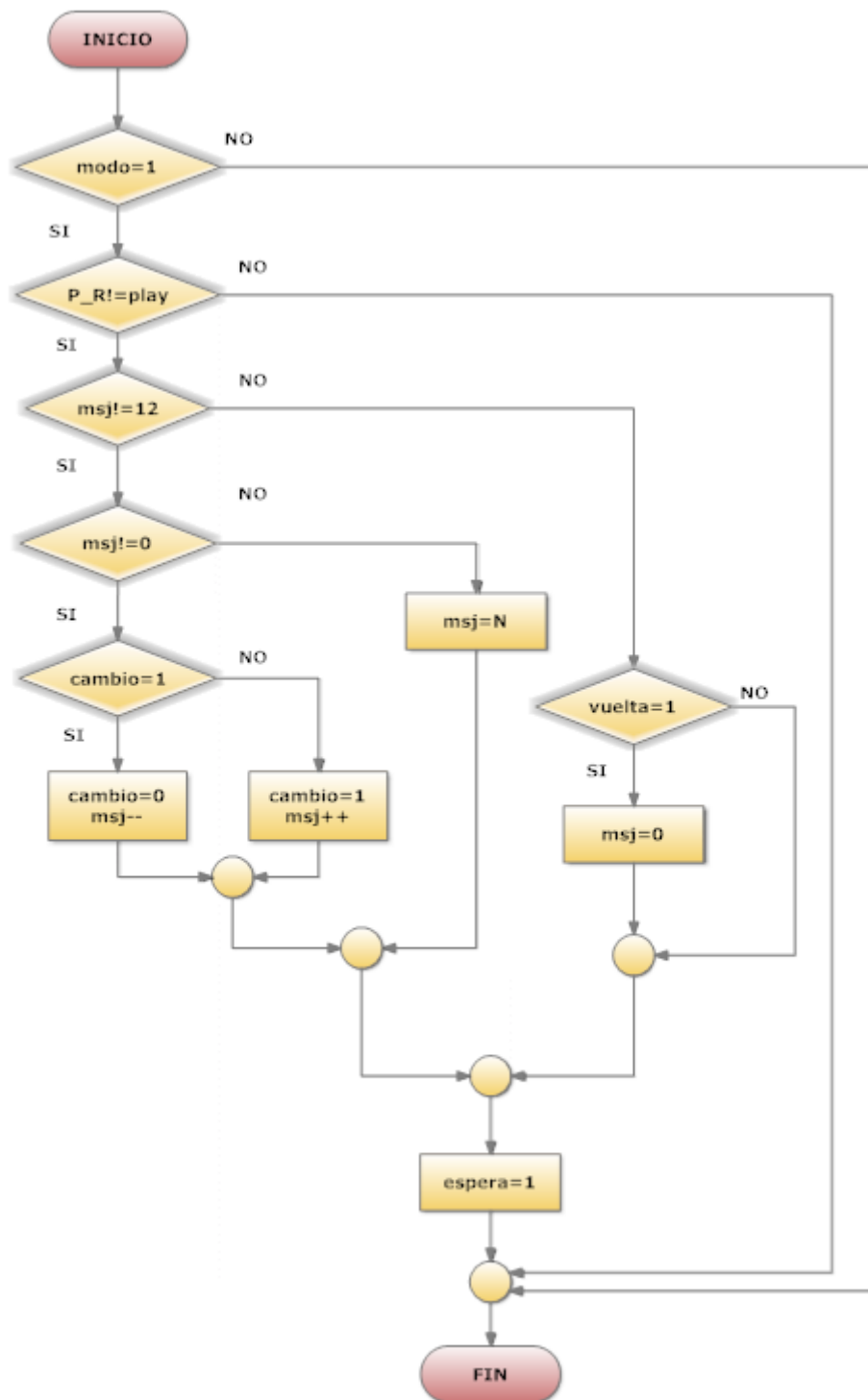
a. Main program



b. While(espera=1)



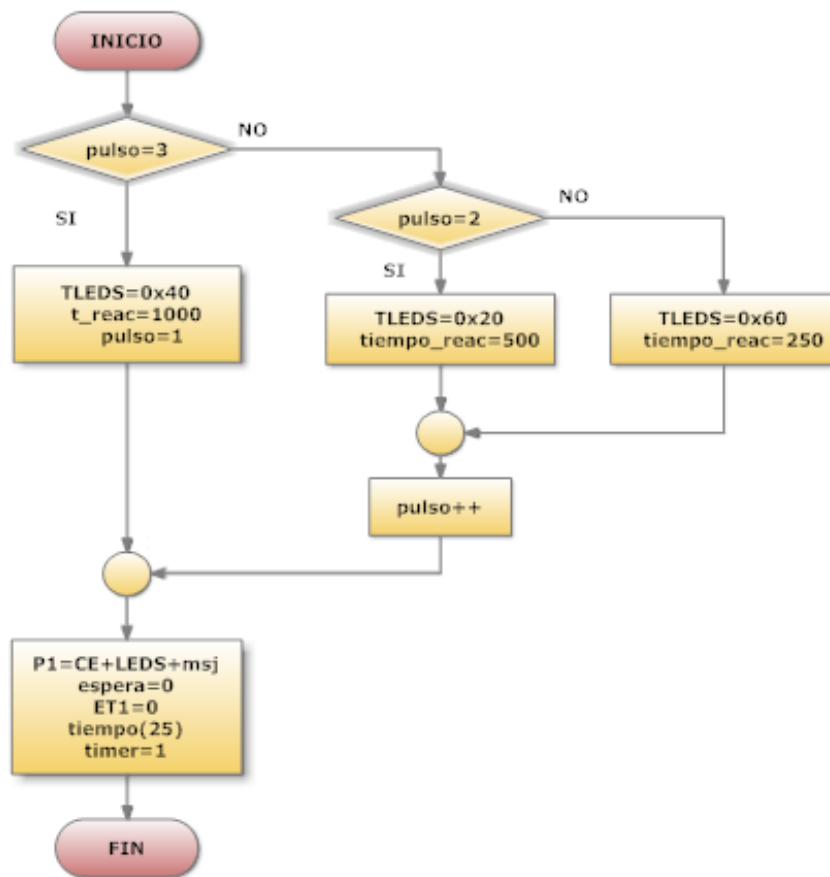
c. While (espera=0)



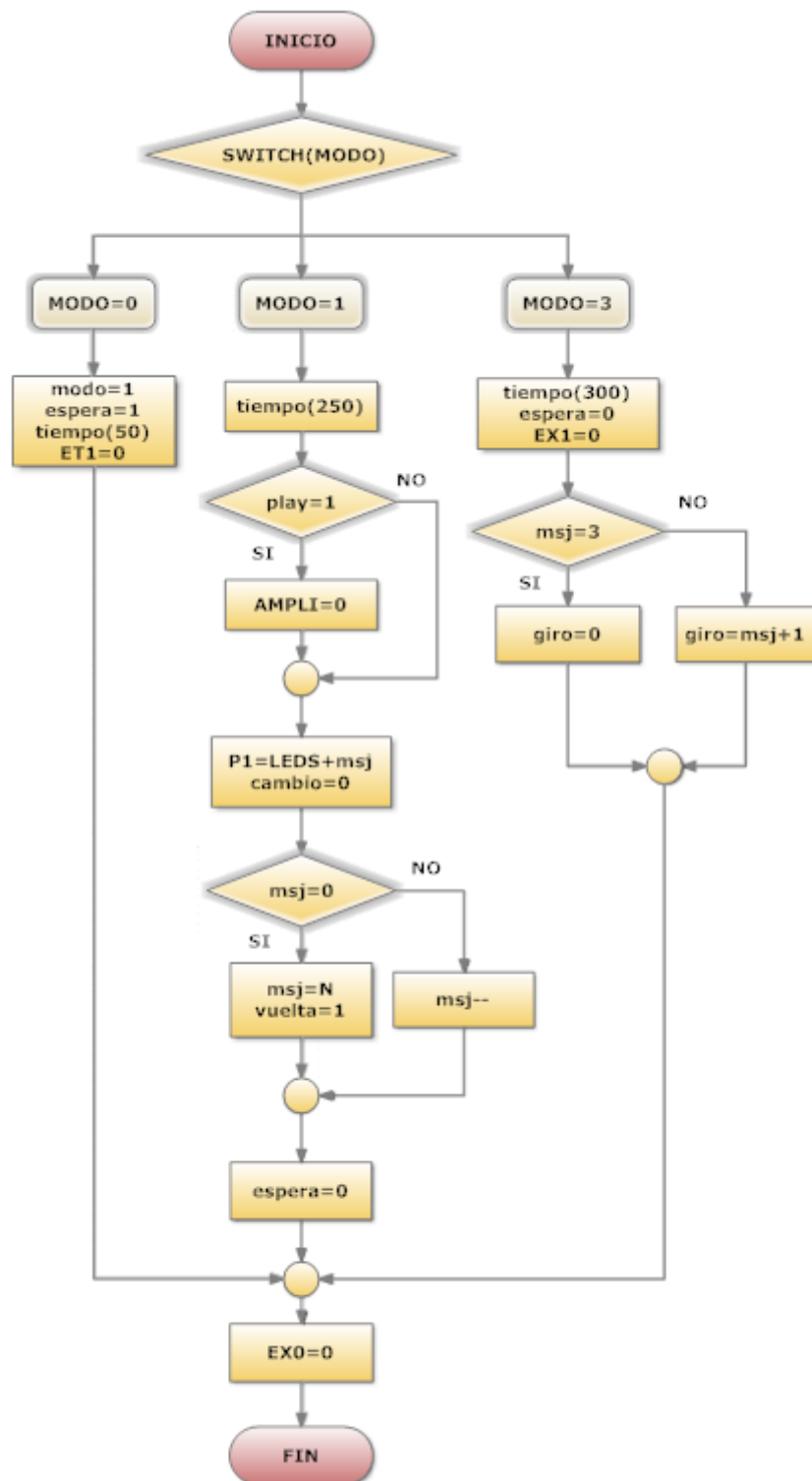
```

graph TD
    INICIO([INICIO]) --> D1{conteo=cuenta}
    D1 -- NO --> D2{modo=2}
    D1 -- SI --> P1[TR0=0]
    P1 --> D3{SWITCH(MODO)}
    D3 -- MODO=0 --> P2[espera=1]
    P2 --> D4{timer=1}
    D4 -- SI --> P3[TF1=0  
ET1=1  
timer=0]
    P3 --> J1(( ))
    D4 -- NO --> P4[ET1=0  
EX0=0  
conteo++  
modo=2]
    P4 --> J1
    J1 --> D5{modo=1}
    D5 --> P5[IE0=0  
EX0=1  
Start=1  
AMPLI=1  
espera=1]
    P5 --> J2(( ))
    D3 -- MODO=2 --> D6{repetir=0}
    D6 -- SI --> D7{girar=1}
    D7 -- SI --> P6[motor()]
    P6 --> J2
    D7 -- NO --> D8{msj=3}
    D8 -- SI --> P7[espera=1]
    P7 --> J2
    D8 -- NO --> P8[tiempo(18000)  
modo=3  
IE0=0  
EX0=1]
    P8 --> J2
    D6 -- NO --> D9{conteo=18000}
    D9 -- SI --> P9[ON_OFF=1]
    P9 --> J2
    D9 -- NO --> P10[espera=1]
    P10 --> J2
    J2 --> D10{modo=3}
    D10 -- SI --> P11[Start=0  
AMPLI=0]
    P11 --> J3(( ))
    D10 -- NO --> P12[Start=1]
    P12 --> J3
    J3 --> D11{conteo=250}
    D11 -- SI --> P13[AMPLI=1]
    P13 --> J4(( ))
    D11 -- NO --> J4
    J4 --> D12{play=1}
    D12 -- SI --> P14[Start=1]
    P14 --> J5(( ))
    D12 -- NO --> J5
    J5 --> P15[MTR=1  
conteo++]
    P15 --> J6(( ))
    J6 --> P16[TH0=TIME_TH  
TL0=TIME_TL]
    P16 --> FIN([FIN])
  
```

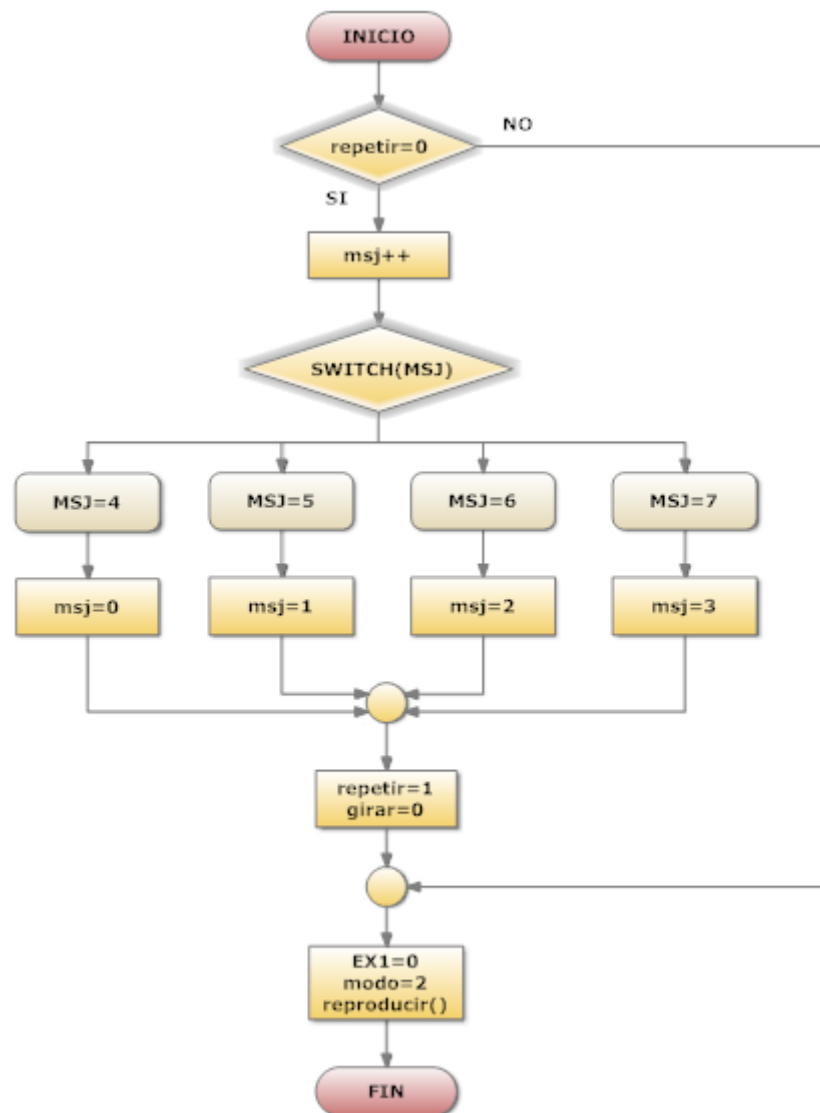
e. Timer 1



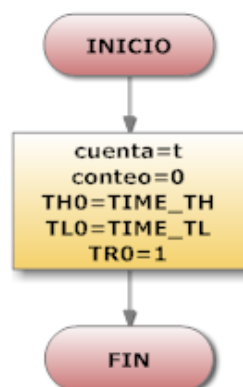
f. Interrupción 0



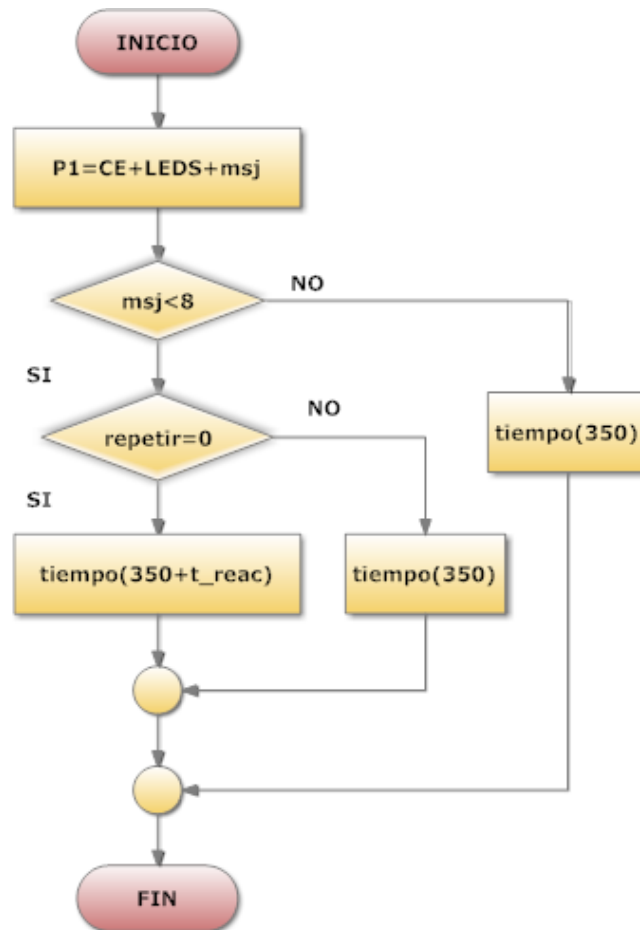
g. Interrupción 1



h. tiempo(t)



i. Reproducir()



j. Motor()

