



*Facultad de Física*

*Departamento de Electrónica y Electromagnetismo*

-----TRABAJO DE FIN DE GRADO-----

SISTEMAS ELÉCTRONICOS PARA LA ASISTENCIA,  
AYUDA Y RECREACIÓN DE PERSONAS CON  
DISCAPACIDAD

---

José Carlos Jiménez Revuelta

Junio, 2018



## AGRADECIMIENTOS

*El presente trabajo nace de las ideas recogidas durante las visitas hechas al Centro de Educación Especial Directora Mercedes San Roma, al cual debo agradecerle su completa participación y disposición a aconsejarnos y ayudarnos en todo lo posible.*

*Al Taller de la Facultad de Física por haber trabajado con la madera y los perfiles de aluminio que sirvieron de estructura para la Plataforma MARC.*

*A mi tutor Antonio, que ha sabido orientarme y confiar en el sueño de esta idea poco convencional para un TFG.*

*A mi tutora Gloria, a la que tengo tanto que agradecerle en general que no sabría por dónde empezar. Casi desde que entré en la Universidad hemos estado trabajando juntos en numerosos proyectos muy diferentes y siempre supo apoyarme, aconsejarme y conseguir que vieran la luz. Mi etapa universitaria sin duda está marcada por tu amistad y tu ayuda y ha sido maravillosa.*

*Al IES HELIÓPOLIS, por prestarnos generosamente sus instalaciones y material para llevar a cabo el trabajo de estos últimos meses de construcción y prueba de los dispositivos.*

*A mi padre, responsable de mi pasión inicial por la Física y el Universo. Estés donde estés, gracias a ti existe este proyecto.*

*A mi hermano Marc, compañero MAKER. Trabajar contigo estos meses no ha sido un trabajo, sino un viaje de aprendizaje y amistad.*

*Por último, a mi familia y amigos, que me han acompañado en esta etapa tan bonita.*



---

## **1**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
1.1. Análisis de posibles soluciones existentes y dispositivos similares a los propuestos .....	8
1.1.1. Plataforma MARC .....	8
1.1.2. Licornio Láser y dispositivos adaptados .....	10
1.1.3. Pipiómetro .....	12
1.2. Conclusiones sobre las etapas de comparación con los productos comerciales para la asistencia .....	13

---

## **2**

<b>2. PLATAFORMA MARC</b> .....	<b>14</b>
2.1. Diagramas de funcionamiento de la MARC .....	16
2.1.1. Modo Exploración .....	18
2.1.2. Modo Repulsión de línea .....	20
2.1.3. Modo Seguimiento de línea .....	21
2.1.4. Modo Control Bluetooth .....	23
2.2 Componentes .....	
2.2.1. Puente en hache. ....	25
2.2.2 Análisis circuital del puente en hache.....	29
2.2.3. PWM (Pulse Width Modulation) .....	31
2.2.4. Sensor de ultrasonidos .....	34
2.2.5. Sensor de infrarrojos.....	36
2.3. Conclusiones y testeo de la MARC con peso inanimado de 40 kg. ....	37

---

## **3**

<b>3. LICORNIO LÁSER ó LIGHTCORN</b> .....	<b>40</b>
3.1. Componentes .....	40
3.1.1. Biestables RS.....	41
3.1.2. Fotorresistor ó LDR .....	43
3.1.3. Análisis circuital del Interruptor Diana del Lightcorn.....	45
3.2. Conclusiones y testeo del Ligthcorn y dispositivos asociados .....	48

---

## **4**

<b>4. PIPIÓMETRO</b> .....	<b>49</b>
4.1. Descripción de conexiones del circuito 555. ....	50
4.2. Modo de operación como Multivibrador Astable .....	51
4.3. Conclusiones tras el análisis del pipiómetro .....	53

---

**5**

**5. BIBLIOGRAFIA..... 54**

---

**A**

ANEXOS

ANEXO I ..... 55

ANEXO II ..... 61

## 1. INTRODUCCIÓN

En el marco de la dependencia y la discapacidad motora severa infantil, los tutores y cuidadores suelen encontrar muchas dificultades a la hora de buscar y emplear dispositivos adaptados. Los juguetes que el mercado ofrece a veces resultan demasiado ruidosos, rápidos o requieren dinámicas que los niños, por falta de movilidad, no pueden llevar a cabo. Este es el caso de aquellos que por sus luces y colores cambiantes pueden producir epilepsia en los infantes más sensibles, o son difíciles de manipular y coger por ellos. Sin embargo, determinados estímulos sencillos pueden tener efectos muy positivos en el desarrollo del niño. Hacer que fije su atención en una diana para atinar con un licornio mejora su concentración en el resto de actividades. Jugar a que produzca un sonido determinado que se vea recompensado durante el juego, ayudará a su garganta y permitirá que trague mejor. Y en general, cualquier juego que le aporte una diversión adaptada mejorará su calidad de vida.

Otros dispositivos relacionados con el movimiento del niño también presentan algunos problemas. Los niños con discapacidad motora severa no pueden manejar una silla de ruedas electrónica, por lo que cualquier desplazamiento requiere una asistencia externa. Por no hablar del coste general que supone un dispositivo adaptado para la particular movilidad de cada individuo.

Por último, la necesidad de una atención constante al pañal en el caso de aquellos niños que no pueden comunicar que se han orinado o defecado, para evitar dermatitis, infecciones o rozaduras es también una dificultad que en el mundo de los dispositivos electrónicos podría encontrar solución.

En la actualidad, numerosos micro-controladores presentes en el mercado han abierto las puertas a una generación de programadores, domotizadores e inventores. El movimiento maker es una realidad cada vez más presente. La innovación impulsada desde el propio consumidor permite una mejor adaptabilidad y una cercanía con las raíces de los posibles problemas con el uso de un producto de una forma que no se ha visto antes.

Así, los objetivos a los que responde este TFG no son otros que subsanar problemas en los actuales dispositivos para la estimulación sensorial de los niños, mejorar su calidad de vida mediante el diseño y construcción de Plataformas de Movilidad Autónoma y Recorrido Controlado (De ahora en adelante Plataformas MARC), el desarrollo de un Licornio Láser que permita la activación y el encendido de todo tipo de aparatos a distancia mediante movimientos cervicales y la realización de

un prototipo para un sensor de orín que envíe señales al cuidador del niño. De esta manera, el trabajo no sólo servirá para la formación en aspectos de programación o electrónica, sino que la interdisciplinariedad estará presente desde el momento que en el que se diseñarán esquemas y circuitos, se mecanizarán las diferentes piezas que componen los productos y en general, se afrontarán los problemas surgidos de llevar un diseño teórico al mundo de lo útil y práctico.

## **1.1. ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES EXISTENTES Y DISPOSITIVOS SIMILARES A LOS PROPUESTOS**

Antes de abordar los posibles diseños de nuestros dispositivos, hicimos nuestras averiguaciones sobre los productos existentes en el mercado que de alguna forma se acercaban a los que nosotros queríamos construir.

### **1.1.1. PLATAFORMA MARC**

En general, la Plataforma MARC puede ser similar en algunos aspectos a una silla de ruedas eléctrica convencional. Entre ellos en que la tracción se lleva a cabo a través del motor de la silla, ahorrándole ese esfuerzo al ocupante. En el caso que nos ocupa, los discapacitados motores severos tienen gran parte de su cuerpo inmovilizado haciendo no solo que no dispongan de la fuerza necesaria para hacer girar las ruedas manualmente, sino que, en la mayoría de los casos, tampoco poseen la destreza suficiente para controlar la trayectoria de la silla. Para ellos, adaptar las sillas eléctricas convencionales para su uso conlleva un sobrecoste sobre el ya de por sí elevado precio en el que las encontramos en el mercado. La siguiente tabla (*Tabla 1.*) muestra un pequeño ejemplo de estas.

<b>SILLAS ELÉCTRICAS DE RUEDAS</b>	<b>PRECIOS</b>
<i>Mistral 7</i>	1599,00 €
<i>Mistral 10</i>	1699,00 €
<i>Plegable I-Explorer 3 de Apex</i>	2299,00 €
<i>Libericar Power Chair</i>	997,00 €
<i>Plegable I-Explorer 3 Plus de</i>	2475,00 €



<i>Apex</i>	
<i>Yack 962</i>	3299,00 €
<i>Express Vermeiren 2018</i>	3432,00 €
<i>Navix RWD Vermeiren</i>	3432,00 €
<i>Forest 3 Vermeiren 2018</i>	4472,00 €
<i>Airwheel H3</i>	2168,18 €
<i>Rumba-Sunrise Medical</i>	1928,96 €
<i>Super-ligera Mistral-Libercar</i>	1739,27 €

*Tabla 1. Muestrario de modelos de silla de ruedas.*

Aunque el estudio no sea exhaustivo de todos los modelos existentes, es bastante ilustrativo sobre el alto precio de los productos y la especialización de estos. Todas estas sillas son modelos controlados a través de un Joystick analógico ubicado sobre uno de los reposabrazos, y en general están enfocadas a usuarios con la suficiente destreza en sus manos para poder accionarla de manera segura. Esto no se cumple así para los discapacitados motores severos. Ellos pueden disponer de determinadas zonas de destreza de su cuerpo (Doblar una rodilla, golpear con un dedo, pegar la mano contra su pecho, movimiento mandibular...) que pueden servir para activar sensores o pulsar botones que pongan en movimiento la silla. Pero todo el recorrido ha de ser controlado de alguna forma, ya sea mediante el control directo por parte de un tutor o cuidador a través del bluetooth, o empleando los sensores que dispondrá la MARC para el seguimiento de línea o el control de proximidad.

Obviamente, en el aspecto tecnológico, lo más parecido a la PLATAFORMA MARC son los cochecitos teledirigidos y en general muchos proyectos con ARDUINO incorporan los tipos de sensores empleados por la MARC para los mismos fines, esto es: Control Bluetooth, Seguimiento de línea y Control de proximidad.

Estos juguetes, que pueden comprarse muy fácilmente por internet, incorporan también la controladora de motores DC necesaria para los diferentes sentidos de giro de las ruedas. La principal diferencia electrónica entre estos modelos y la MARC es precisamente esta controladora. A diferencia de estos, la MARC funciona con una batería de 12 V y 7 A/H no con pilas de 5 o 9 V con las suelen estar alimentados estos cochecitos. Es necesario un diseño completo y desde cero de una nueva controladora para los motores de la MARC. Estos motores deben ser mucho más potentes y la estructura ha de tener la capacidad de soportar el peso y dar movimiento a una carga

máxima de 70 kg, además de poder incorporar una regulación de velocidad a través del PWM del ARDUINO.

Así pues no existen productos en el mercado que puedan cumplir las necesidades que cubre la Plataforma MARC y aquellos que podrían ser adaptados (previamente encontrando alguna empresa capacitada para ello) tienen un precio muy elevado. La MARC se presenta entonces como un diseño único y versátil y una solución para la movilidad de los/las niños/as del Centro para la Educación Especial Mercedes San Roma.

### 1.1.2. LICORNIO LÁSER Y DISPOSITIVOS ADAPTADOS

Se puede definir el licornio como aquel dispositivo que permite el control de diferentes elementos mediante el movimiento de cabeza (*Fig 1.1*). En el mercado, el licornio mecánico es un producto muy común para la asistencia de personas con problemas de movilidad y destreza. Su diseño convencional es un puntero frontal sujeto a la cabeza mediante correas, permitiendo que el usuario pueda pulsar botones o dibujar mediante movimientos cervicales.

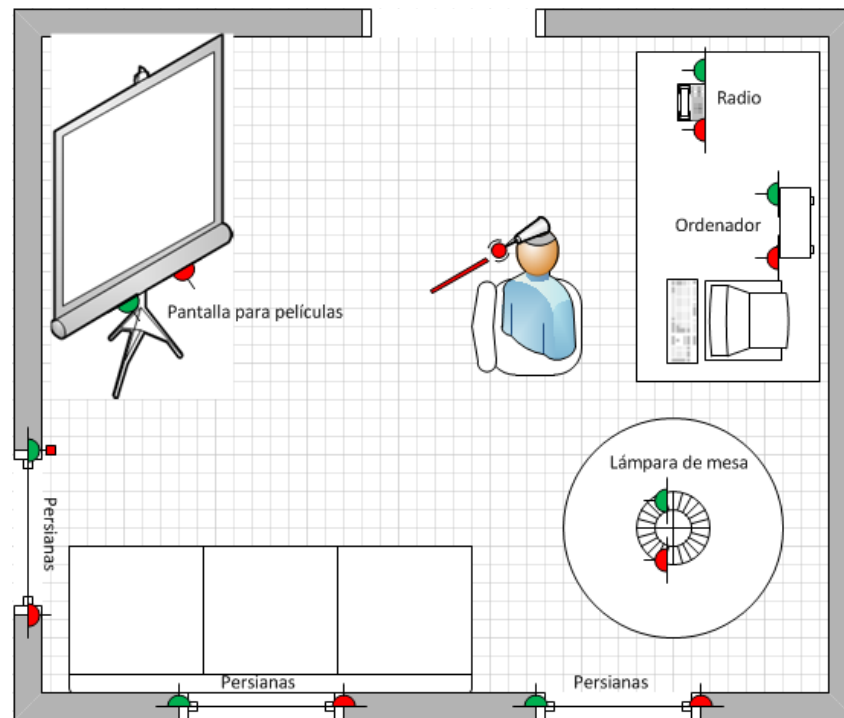


*Fig. 1.1 Fotografía de un Licornio.*

Los precios de los licornios comerciales son relativamente elevados (Relativo debido a lo que realmente es, un palo sujeto a la cabeza) debido a la homologación que deben pasar los productos dedicados a la asistencia de personas, oscilando su valor en el mercado entre los 250-400 €. Un Licornio casero resulta mucho más rentable, pudiendo elegir el método de sujeción más cómodo para la persona además del puntero más conveniente.

No obstante, lo que nosotros proponemos mantiene del Licornio original la función del control mediante movimientos de cabeza, pero reinventa completamente tanto las aplicaciones como el concepto. En lugar de un puntero que opere mediante la presión de teclas o botones dispondremos

de un láser que el usuario del Licornio podrá dirigir hacia zonas fotosensibles previamente colocadas (Interruptores Diana) que permitan el encendido y apagado de diversos sistemas (Ordenador, Radio, Proyección, Televisión...) así como la activación de juguetes adaptados al licornio. A continuación una recreación de un usuario del Licornio empleándolo en una habitación adaptada (*Fig 1.2*):



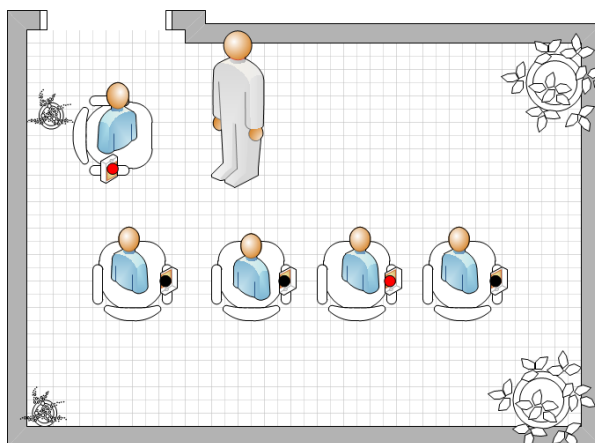
*Fig 1.2. Usuario de Licornio Láser en habitación adaptada. Pasando el puntero por las zonas fotosensibles se pueden subir y bajar persianas, encender y apagar el proyector, la radio, el ordenador o la lámpara de mesa.*

Los objetos en verde representan las zonas fotosensibles adaptadas para el encendido y las rojas para el apagado. Hemos llamado a estos sensores Interruptores Diana y su diseño y construcción se explicarán más adelante. Además, multitud de juegos pueden ser implementados fácilmente, como un Simón Dice basado en la tecnología de zonas fotosensibles señalizadas por diferentes colores. Con una domotización completa de un Aula o habitación, el usuario del Licornio Láser posee el control de los dispositivos mediante movimientos cervicales cómodos. Además, apuntar con el puntero láser fomenta la concentración y la recompensa de ver activados juguetes o de poder encender y apagar música o cambiar de cadena se espera que haga mejorar su destreza con el Licornio.

No hay productos iguales en el mercado por lo que la solución que ofrece el Licornio Láser (LL) es única.

### 1.1.3. PIPIÓMETRO

El Pipiómetro es sobre todo una petición especial del centro Mercedes San Roma para optimizar el cuidado de los menores. Aunque no presenta mayor complejidad que la de ser un controlador de humedad con una oscilación visible de dos LEDs para los tutores, cumple la necesidad de poder ahorrar el tiempo de comprobación de pañales para poder emplearlo en otras actividades. A continuación un pequeño ejemplo de funcionamiento del sistema (*Fig 1.3.*):



*Fig.1.3. Aula con niños/as y cuidador empleando el pipiómetro. Gracias al dispositivo el tutor puede ver en el momento cuál de sus alumnos/as necesita ser cambiado/a a través de la rápida oscilación de dos LEDs de color Rojo, identificados en la imagen con el dispositivo con el círculo rojo.*

En el mercado hay muchos productos para detectar la humectación de tejidos, desde pañales inteligentes hasta sistemas como DIMPO destinados a corregir la enuresis (micción involuntaria). El DIMPO y nuestro pipiómetro poseen un funcionamiento muy parecido: un cabezal blando que detectará la primera muestra de pipí que se produzca y enviará una señal. La diferencia fundamental está en que el sistema comercial ofrece todo un juego de motivaciones que busca condicionar el comportamiento de los niños ante las sensaciones de pipí. Así, el niño identifica la sensación de vejiga llena y aprende cuando ha de levantarse e ir al servicio. Esto eleva el coste total del producto

a unos 77,95 €. El Pipiómetro que nosotros hemos diseñado y construido cuesta producirlo aproximadamente unos 2-3 €.

Nosotros no buscamos combatir la enuresis sino facilitar el trabajo de los cuidadores por lo que un pitido que avisara o despertara al niño podría producirle un estrés perjudicial. Decidimos entonces dejar solo el LED como señal visual.

Al no producirse grandes movimientos que puedan descolocar el cabezal la fijación es más sencilla y todo lo electrónico queda fuera del pañal y colocado en una cajita a la vista del cuidador. Lo único que se coloca en el pañal es el cabezal blando.

Estas razones justifican la elección que hicimos a la hora de desarrollar nuestro dispositivo, produciendo un total de 4 con el objetivo de donarlos para su utilización al centro Mercedes San Roma.

## **1.2. CONCLUSIONES SOBRE LAS ETAPAS DE COMPARACIÓN CON LOS PRODUCTOS COMERCIALES PARA LA ASISTENCIA**

Dentro del mundo de los dispositivos para la discapacidad motora severa el gran problema que encuentra uno es una oferta poco variada y generalmente con unos costes muy altos. Además, cada paciente posee diferentes niveles de destreza que además pueden estar localizados en diferentes zonas de su cuerpo, por lo que muchos gadgets pueden resultar inservibles para ellos.

Sin embargo, si lo que nos inspira es la versatilidad de un dispositivo y la capacidad de funcionamiento variable dependiendo de su usuario, podemos encontrar muchas ideas que por algún motivo no han sido implementadas aún. La Plataforma MARC, el Pipiómetro o el Licornio Láser son las ideas que hemos escogido para este trabajo porque tras charlar con los trabajadores del Mercedes San Roma nos parecieron las más necesarias, interesantes o entretenidas para montar y describir en este TFG. Pero en el proceso quedaron pendientes modificaciones, mejoras y nuevos dispositivos quedando pendientes así otros caminos que recorrer dentro del mundo de los productos para la asistencia.

Ahora pasaremos a analizar el primer y más grande reto de construcción, no solo por ser el más elaborado, si no por la multitud de problemas, fracasos y dificultades que tuvimos que superar para

que todo funcionase con corrección. Vamos a echarle un vistazo a la Plataforma de Movilidad Autónoma y Recorrido Controlado, llamada cariñosamente Plataforma MARC.

## 2. PLATAFORMA MARC

La Plataforma de Movilidad Autónoma de Recorrido Controlado (Plataforma MARC o simplemente MARC, a partir de ahora) surge tras una visita al centro Directora Mercedes San Roma, en Bellavista, Sevilla. Se trata de un centro especializado en niños necesidades especiales, entre los que una gran mayoría padece discapacidad motora severa. Estos niños no pueden controlar un joystick de una silla de ruedas electrónica convencional y, en general, no poseen una movilidad que les permita decidir direcciones. Así, en la visita se planteó la idea de diseñar una plataforma, cuyo funcionamiento fuera muy parecido al de un cochecito con detectores de proximidad, pero con la capacidad de transportar el peso de un niño junto con su propia silla de ruedas, además de hacerlo a una velocidad segura. Para evitar cuando se requiera un recorrido aleatorio que pudiera ser peligroso, ya que como hemos dicho el niño no puede elegir direcciones, se plantearon cuatro modos seleccionables de control de la MARC:

- **Seguimiento de línea + Control de Proximidad:** A lo largo del centro Mercedes San Roma se trazaría una línea en el suelo que recorrería distintas aulas importantes en el esquema de actividades del niño: Aula, Sala de Estimulación Sensorial y Baño. El niño/a pondría en funcionamiento la silla accionando un Pulsador que le permitiría ir avanzando bajo su propia decisión, lo que le haría experimentar por primera vez una sensación de autonomía en su movimiento pudiendo parar cuando lo desactivara. Si un obstáculo se interpusiera en su camino la MARC se pararía con suavidad.
- **Repulsión de línea + Control de Proximidad:** Con los mismos sensores, este modo se podría utilizar para trazar un perímetro controlado de movimiento, del cual la MARC no podría salir, que permitiría al niño/a moverse siguiendo trayectorias generadas por el micro-controlador. Es el recomendado para espacios abiertos.

- **Exploración:** Similar al anterior pero sin la necesidad de disponer de una línea que evite que el niño salga de un recinto. Este modo estaría pensado para entornos controlados y libres de obstáculos pequeños y difíciles de saltar.
- **Control vía bluetooth + Control de Proximidad:** Mediante una aplicación móvil, permitiría el control de la MARC por parte de un cuidador, manteniendo el control de proximidad para evitar accidentes.

Con estos cuatro modos se podrían elaborar diferentes actividades de estimulación para los niños y niñas del complejo y sería compatible con cualquier silla que estuvieran empleando, pues realmente el diseño considera los tamaños más grandes en los estándares de sillas de ruedas y posee fijaciones modificables de estas.

El *Pulsador* será el elemento de interacción entre el niño/a y la MARC, que permitirá mantenerla en movimiento mientras este activado y detenerla cuando deje de pulsarlo. Se propondrán y elaborarán tres tipos en función de las capacidades del niño para manipularlo:

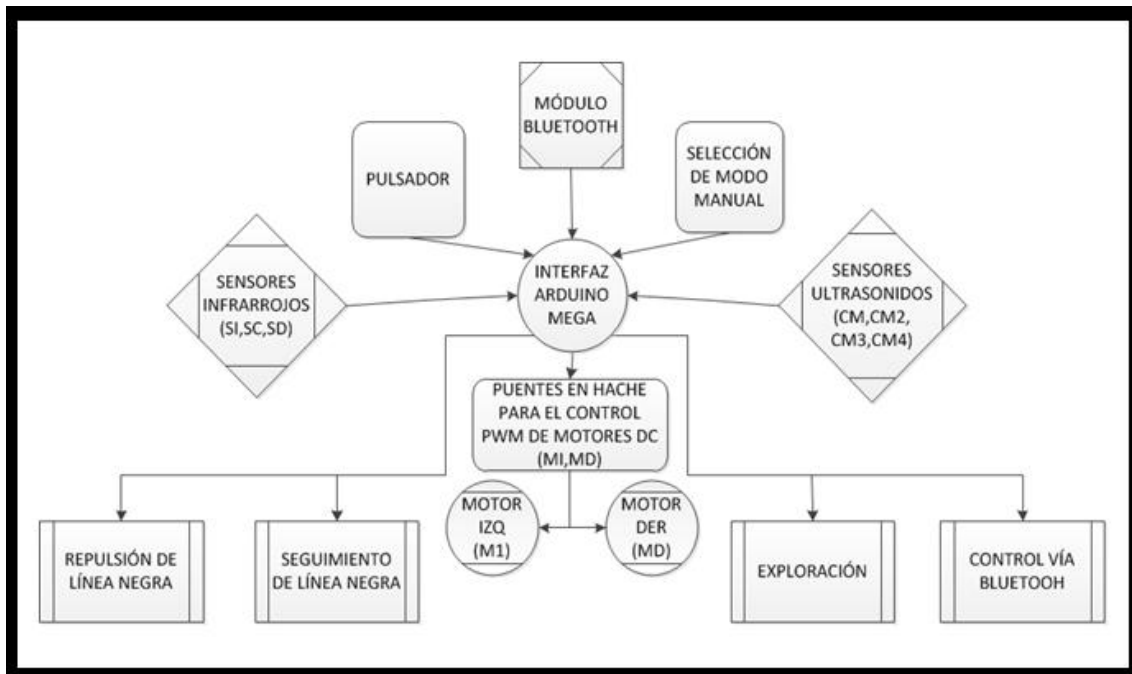
- **Pulsador Botón:** Un botón que descansará sobre el reposabrazos de la silla o perpendicularmente a este, que el niño/a accionará empujando con su mano. La altura y posición se ajustarán buscando la comodidad del niño/a.
- **Pulsador Camisa:** Mediante un babero con sensibilidad, el niño/a accionará el mecanismo al retraer su brazo y apretarlo contra su pecho. De igual forma que el botón se ajustarán altura y sensibilidad para la comodidad del usuario.
- **Pulsador Chupete:** El movimiento que pondrá en marcha la MARC será la contracción mandibular. Este pulsador servirá para aquellos niños que no posean la destreza suficiente con sus extremidades además de servir de estímulo para que desarrollen los músculos de la mandíbula.

Otros mecanismos para accionar la MARC pueden ser diseñados para emplear otras zonas de destreza del niño/a cómo pueden ser las piernas, el cuello o incluso ser accionados mediante la emisión de sonidos. Sin embargo, por servir los propuestos para la gran mayoría de los niños hemos

decidido centrarnos en estos diseños. La MARC dispondrá, sin embargo, de una entrada JACK para que pueda ser actualizada o personalizada con diferentes pulsadores en un futuro.

## 2.1. DIAGRAMAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MARC

El núcleo de la MARC será un Arduino MEGA 2650 correctamente programado y conectado a los diferentes sensores y a la controladora de motores DC, que en nuestro caso se tratarán de dos puentes en hache. Con el fin de ilustrar su estructura se plantea el siguiente diagrama y dibujo (Fig 2.1):



*Fig 2.1. Diagrama de flujo de los diferentes sensores y entradas que están asociadas al Arduino, y los diferentes modos en que puede estar actuando: Repulsión de línea negra, Seguimiento de Línea Negra, Exploración y Control Bluetooth.*

Este esquema representa en forma de diagrama de flujo las entradas y salidas del Arduino MEGA que harán funcionar la MARC además de los dispositivos involucrados.

Los sensores de ultrasonidos nombrados como cm, cm2, cm3 y cm4 estarán en la parte frontal de la plataforma (Fig 2.2.) y se encargarán de la detección de obstáculos y objetos próximos a la MARC.



Cuando estén por debajo de cierto valor umbral efectuarán un giro, un retroceso o se pararán en función de los sensores que se activen.

Los sensores infrarrojos SI, SC y SD serán los que permitirán la detección de la línea negra sobre fondo claro y serán fundamentales en los modos *Seguimiento* y *Repulsión*. Estarán colocados bajo la plataforma en la parte central, adelantados para corregir mejor los diferentes giros que encuentren (Fig 2.2.).

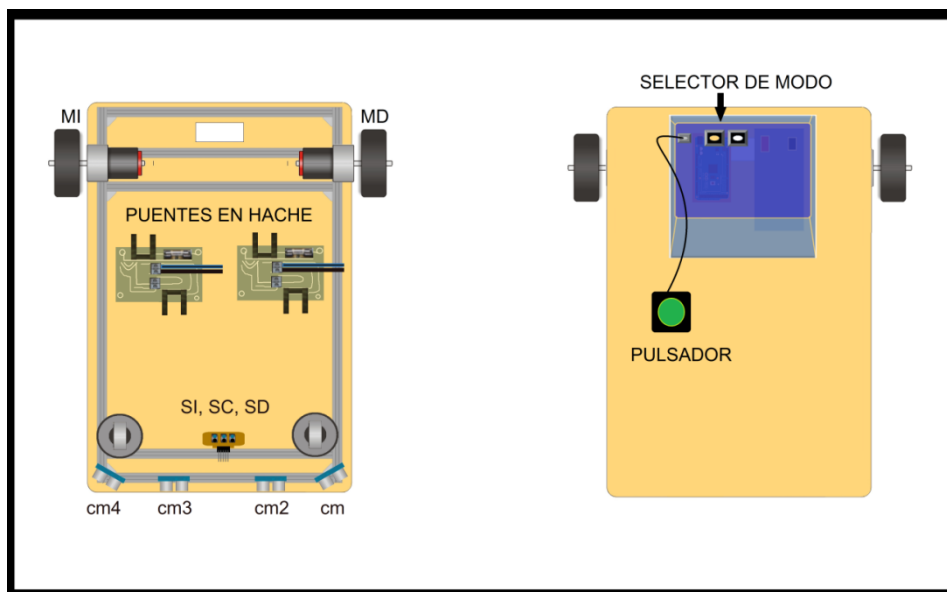


Fig 2.2. Esquema de la Plataforma MARC vista desde abajo y desde arriba. Se obvian los cables que interconectan todo para dar una visión diáfana de los componentes del dispositivo.

Los circuitos de los dos puentes en hache se han colocado bajo la plataforma en lugar de en la cajita de protección de la parte superior por dos motivos: El primero, la falta de espacio; en la caja se encuentra la batería recargable de plomo de 12 V, el Arduino MEGA con todas las conexiones hechas y el Módulo Bluetooth. El segundo y más importante, la necesidad de refrigeración de los transistores BJT. Para ahorrarnos el peligro a que se sobrecalentasen y para mantenerlos siempre sometidos a una corriente de aire consecuencia del propio movimiento de la plataforma decidimos colocarlos debajo, liberando un poco de espacio.

En la parte superior de la MARC encontramos la caja en la que va montada la batería y el Arduino y que permitirá la recarga del dispositivo. Además, la caja dispone de dos conmutadores y una salida Jack. La salida Jack servirá para colocar los distintos pulsadores que decidamos para nuestra

plataforma (en el dibujo se muestra el de tipo botón). Los dos conmutadores permiten la selección del Modo de funcionamiento de la MARC (*Tabla 2.1.*):

Modos de Funcionamiento	Conmutador A	Conmutador B
Control Bluetooth	0	0
Seguimiento de línea	1	0
Repulsión de línea	0	1
Exploración	1	1

*Tabla 2.1. Posiciones de los conmutadores para los distintos modos de funcionamiento. El valor de apagado se designa como 0 y el de encendido como 1.*

A través del selector de Modo, nos encontraremos con una MARC funcionando bajo unas determinadas directrices que habremos definido en su programación. Ya que hemos visto el diseño físico de la plataforma, vamos a adentrarnos un poco en cómo operan estos distintos modos en función de las respuestas que obtienen de los sensores externos.

### 2.1.1. MODO EXPLORACIÓN

El modo Exploración está pensado para que la MARC pueda llevar trayectorias rectilíneas en un entorno despejado de obstáculos. Al detectar las paredes de la habitación, aula o recinto donde funcione, la MARC se detendrá suavemente y efectuará un giro reanudando su trayectoria. Esto lo hará gracias a los sensores de ultrasonidos cm, cm2, cm3 y cm4 que tendrán como valor umbral 55 cm. El siguiente diagrama ilustra las respuestas de la MARC en este modo (*Fig. 2.3*):

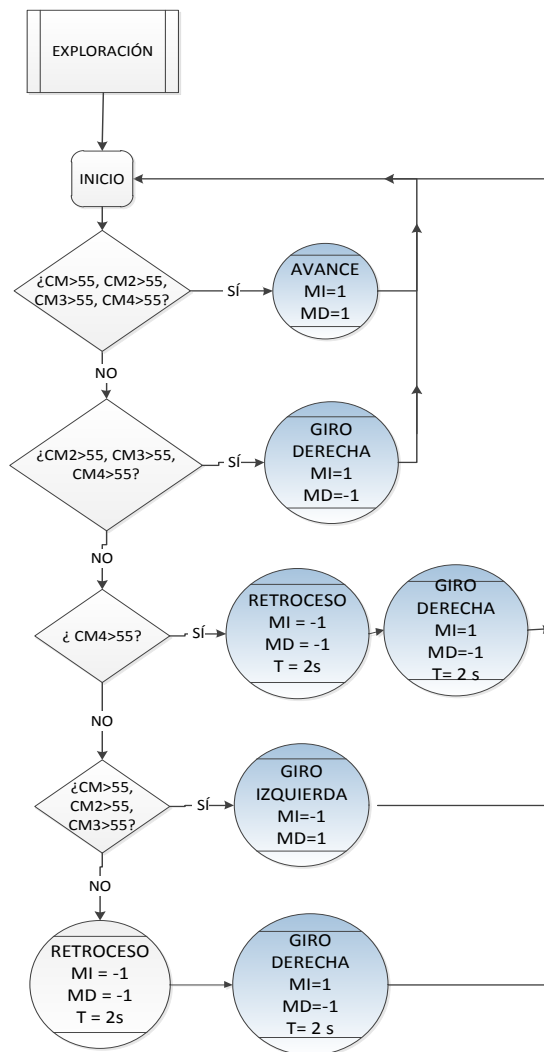


Fig. 2.3. Diagrama del Modo Exploración

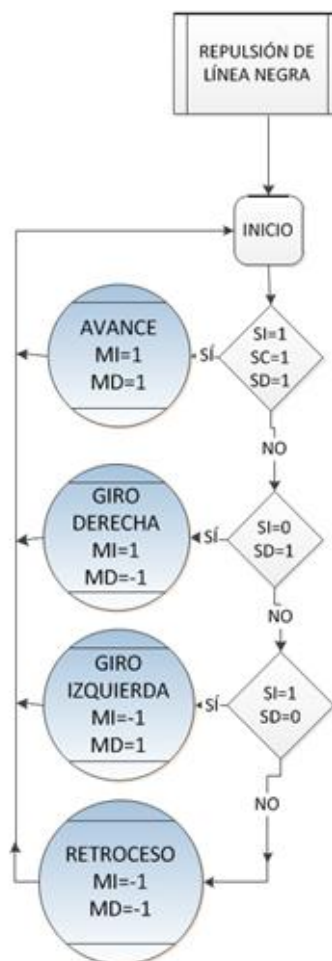
El valor umbral sirve para identificar el obstáculo que la MARC detectará y que deberá sortear mediante un giro o un retroceso. Se ha escogido el valor de 55 cm porque es el óptimo de sensibilidad y seguridad teniendo en cuenta la velocidad obtenida por la MARC con un PWM del 75% y una carga de 40 kg, peso que corresponde al de un niño/a estandarizado de unos 10 años. Los valores dados a los motores son: 1, sentido de giro hacia delante, -1, sentido de giro hacia atrás y 0, parada. El valor T representa un periodo de tiempo programado mediante el cual la MARC efectuará un giro o un retroceso por defecto.

Aunque estemos en Exploración, el control de distancia permanecerá también activado en el Modo Repulsión de Línea debido a una cuestión de seguridad. Si por casualidad la Plataforma MARC fallara al estar detectando la línea que marca el perímetro de control y saliese al exterior, el control de proximidad evitaría los choques accidentales.

La diferencia principal entre los Modos de Repulsión de línea y de Exploración se encuentra en una cuestión logística de las actividades que se realizarán en el Centro Mercedes San Roma. El objetivo es crear caminos entre diferentes Aulas para que los niños recorran una, salgan al pasillo y entren en la siguiente a través de líneas hechas con cinta aislante negra. Siempre que se requiera en las Aulas podrá conectarse el modo Exploración para que los niños pasen por encima de esas líneas con libertad, sin necesidad de que se repelan o se incorporen de nuevo al carril.

### 2.1.2. MODO REPULSIÓN DE LÍNEA

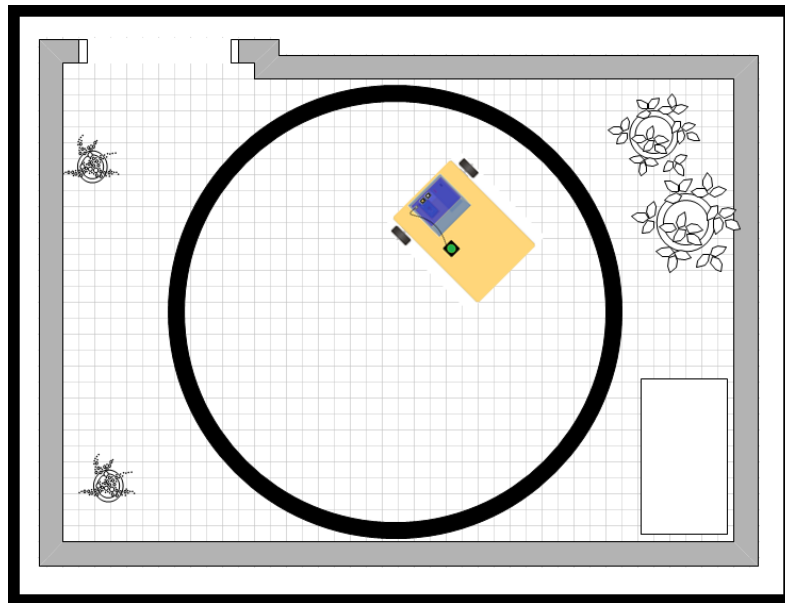
Con este Modo se puede trazar un perímetro controlado en el Aula dentro del cual la MARC podrá moverse siguiendo trayectorias que eviten salirse de las líneas marcadas. Al igual que en el Modo de Exploración se presenta el diagrama de funcionamiento (*Fig 2.4.*):



*Fig. 2.4. Diagrama de funcionamiento del Modo Repulsión de Línea Negra*

Para este diagrama se han tomado los valores de 1, para la detección de un fondo blanco o claro y 0 para la detección de la línea negra. SI es el sensor izquierdo, SD el derecho y SC el central.

Con este modo pueden trazarse perímetros controlados que la MARC podrá detectar y evitar, impidiendo que salga de ellos. Su uso está pensado para Aulas con mobiliario sensible como ilustra el siguiente dibujo (*Fig 2.5.*):



*Fig 2.5. Plataforma MARC en Modo Repulsión de Línea. La MARC traza trayectorias en el interior del círculo negro protegiendo a su ocupante de posibles choques contra las macetas y la mesa que aparecen indicadas.*

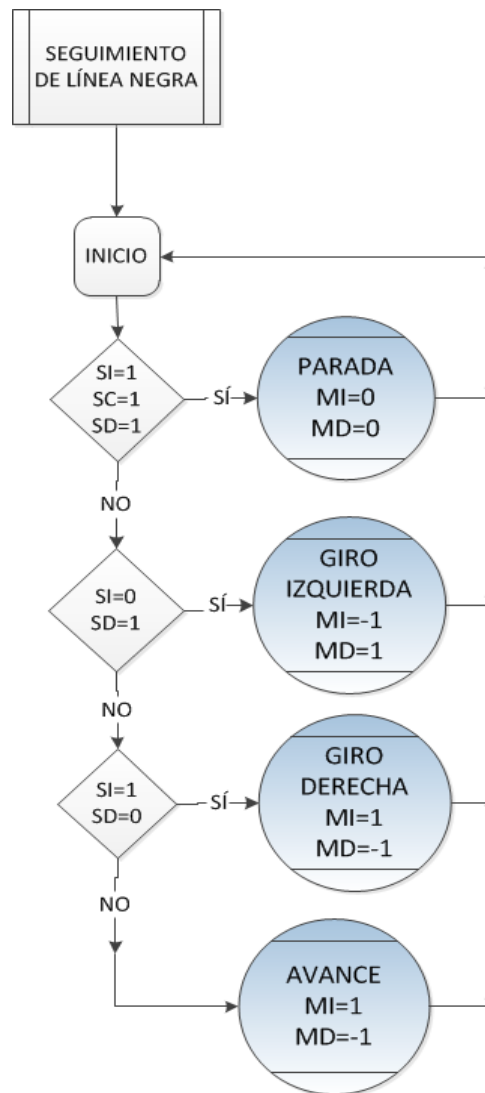
Para evitar posibles accidentes, el control de proximidad ilustrado en el Modo Exploración (Ver *Fig 2.3.*) seguirá activado en este caso.

También puede usarse en espacios abiertos con el fin de poner límites a la trayectoria autónoma de la MARC consiguiendo así un recorrido controlado.

### 2.1.3. MODO SEGUIMIENTO DE LÍNEA

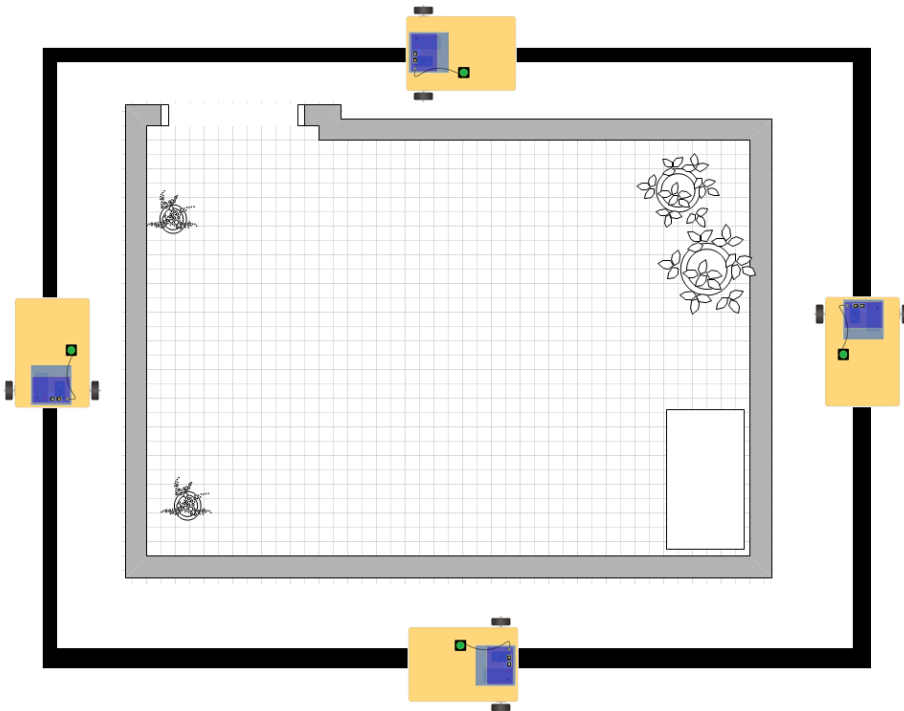
Este es el Modo clásico de todo aquel aficionado a la robótica y es uno de los más empleados en los cochecitos y proyectos más usados del Arduino. La utilidad que le damos en este caso es lo que resulta innovador. Los usuarios de la MARC, es decir los alumnos del Mercedes San Roma, recorrerán pasillos y Aulas en itinerarios controlados por el Seguimiento de línea. Al contrario que

en el caso del Modo Repulsión, aquí no habrá necesidad de mantener el control de distancia, pues la MARC se detendrá en el momento de que por accidente se salga de la línea y termine el carril. Lógicamente, el diagrama de funcionamiento es similar al del modo Repulsión, tal como se muestra en la *Fig 2.6.*:



*Fig. 2.6. Diagrama del Modo Seguimiento de Línea Negra*

En este caso la precaución estribará en despejar de obstáculos el recorrido de la MARC. Mientras haya una línea negra, la MARC la seguirá cuidando de que los giros no se hagan de manera abrupta y con un ancho de línea de unos 3 cm (*Fig. 2.7*).



*Fig. 2.7. Cuatro MARCs recorriendo una línea negra entorno a un Aula.*

El pulsador al igual que en el resto de modos servirá para hacer avanzar la MARC, deteniéndose esta cuando no se encuentre pulsado. Se ha escogido el modelo Botón por ser el más ilustrativo pero en todos los casos puede ser sustituible a través de una entrada JACK

#### 2.1.4. MODO CONTROL BLUETOOTH

En este Modo las trayectorias posibles de la MARC serán controladas a través de una aplicación Android llamada MARC Control que ha sido diseñada empleando el software libre de la página web del MIT APP Inventor (*Ver Fig. 2.8.*). Esta página web permite la creación de aplicaciones de una forma muy sencilla empleando la programación por bloques, con muchas extensiones desde el modelo básico en función de las necesidades. Cuando este modo es activado, el módulo bluetooth del interior de la caja de protección se enciende y es detectado por el móvil o cualquier otro dispositivo con bluetooth. Al conectarse, manda diferentes directrices en función de los botones que se presionen. La aplicación luce así:

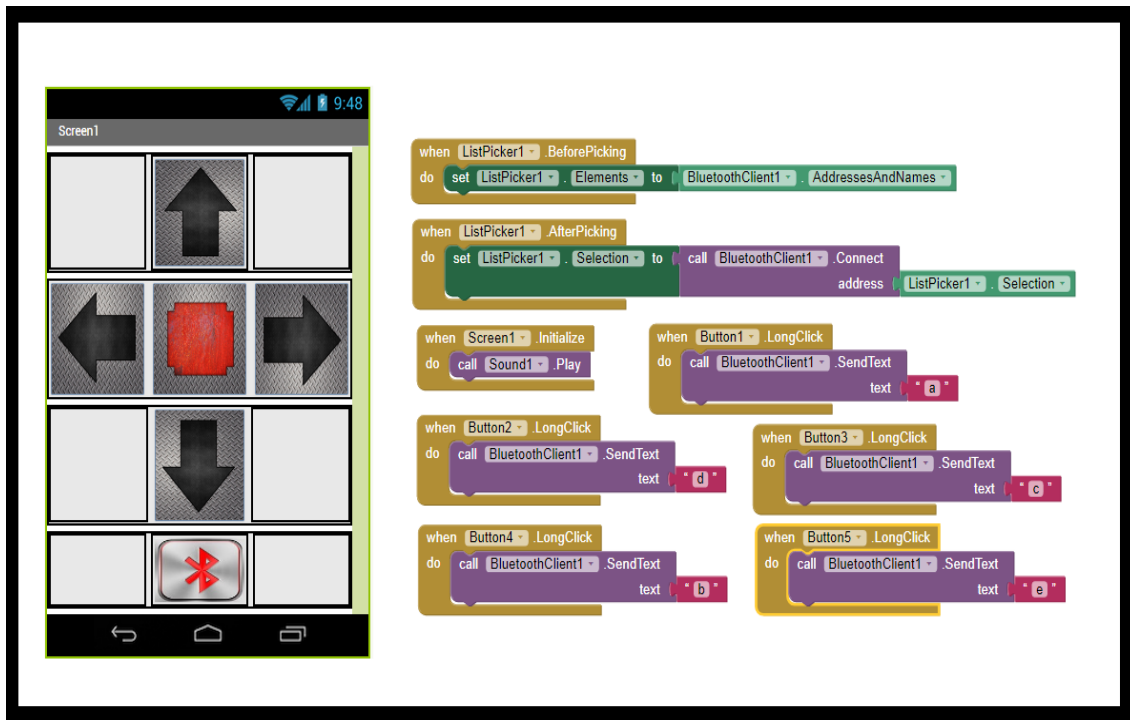


Fig 2.8. Imagen de la APP MARC Control con la programación en bloques introducida en el software APP Inventor.

El botón rojo central sirve para la detención de emergencia de la MARC y el botón con el símbolo de bluetooth despliega una pantalla con los diferentes dispositivos bluetooth que se hallen en las proximidades.

Por el software de la página, los códigos QR generados para descargar la aplicación solo duran un par de horas, por lo cual no sirve de nada adjuntarlo aquí. Otra forma de descargar la aplicación es directamente a través de nuestra cuenta personal en APP Inventor como un archivo .apk. Este archivo será entregado junto con la MARC como donación al Mercedes San Roma.

## 2.2. COMPONENTES

La construcción de la MARC ha requerido la compra, manipulación y diseño de muchas piezas y componentes. Para las partes estructurales se han mecanizado metales y dado forma a piezas de madera y plástico. Estas piezas aparecen fotografiadas en el ANEXO I. Sin embargo sí debemos detenernos ahora en el funcionamiento de los componentes electrónicos que integran la MARC. Empezaremos por el que más problema nos dio durante el proceso de elaboración y el que más cambios ha atravesado durante todo este tiempo: El puente en hache.



### 2.2.1. PUENTE EN HACHE

El encendido de los motores de la MARC no puede llevarse a cabo a través del Arduino directamente, pues los motores empleados son de 12 V y el amperaje en el que operan está cerca de 4 A. El voltaje máximo de salida de un Arduino MEGA 2650 es de 5V y la corriente que puede salir a través no debe ser mayor de 50 mA, por limitadores de corriente que lleva incorporado el propio dispositivo. Sin embargo, el micro-controlador nos puede servir para controlar el giro de ambos motores si lo combinamos con un determinado circuito denominado *Puente en hache*.

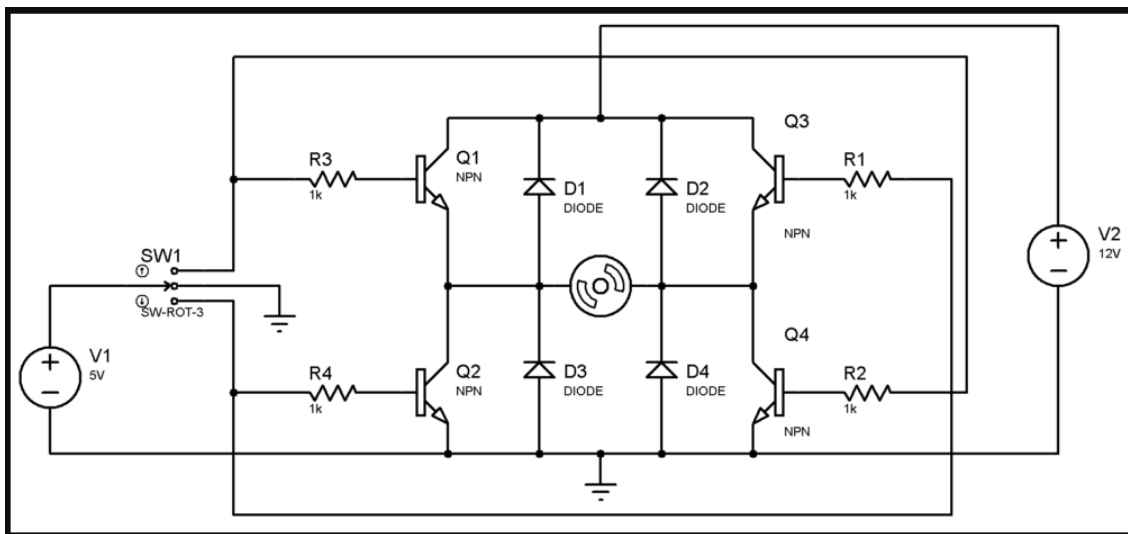


Fig. 2.9. Esquema de un circuito Puente en Hache.

El Puente en Hache es un circuito que suele emplearse en electrónica tanto para el control de motores DC como para regular la potencia suministrada. En el caso que nos ocupa usaremos ambas aplicaciones. Los diferentes estados que puede presentar el circuito permiten al motor cambiar de un sentido de giro a otro, *levógiro* y *dextrógiro*, además de permitir que el frenado se haga por la propia inercia del motor o como consecuencia de un bloqueo del motor a nuevos giros, (*fast-stop*).

El término Puente H proviene de la clásica estructura en que el circuito es dibujado. De esta forma cuatro interruptores se distribuyen en cuadrado alrededor de un motor. Las diferentes combinaciones de interruptores abiertos o cerrados permiten una determinada circulación de la corriente a través del circuito que producirá los diferentes giros y frenados.

En el esquema presentado en la Fig. 2.9. vemos el modelo de puente en hache a analizar. Los interruptores en este caso serán transistores de potencia BJT NPN, que se encontrarán conectados

por parejas a dos salidas digitales del Arduino Mega. Otra diferencia destacable es que encontramos conectados a los transistores en paralelo cuatro diodos.

Los transistores de unión bipolar son dispositivos empleados para controlar el paso de una corriente a través de sus terminales *colector* y *emisor*, al ser activada su terminal *base*. Además pueden ser utilizados para aumentar la corriente y disminuir el voltaje. Utilizamos estos dispositivos en lugar de otros posibles interruptores como pudieran ser relés, TRIAC o tiristores por diferentes motivos. El objetivo no es solo emplear unos interruptores que sirvan en DC sin necesidad de más modificaciones sino mantener la posibilidad de una regulación de la velocidad final de la MARC a través de una modulación de ancho de pulsos (PWM, a partir de ahora por sus siglas en inglés: *Pulse Wave Modulation*) que podemos lograr empleando las terminaciones digitales del Arduino. Este asunto se verá más detalladamente en el apartado dedicado a la *PWM*.

Los diodos aparecen ahora para subsanar un problema práctico que sucede con los motores DC. Cada vez que el motor se detiene, los bobinados presentes en su interior se desmagnetizan. Esto produce un pico de alto voltaje que de ser absorbido por el transistor podría perjudicar su integridad. Los diodos proporcionan una ruta de descarga que protege al transistor. Estos diodos se conocen como diodos de protección o *Flyback*.

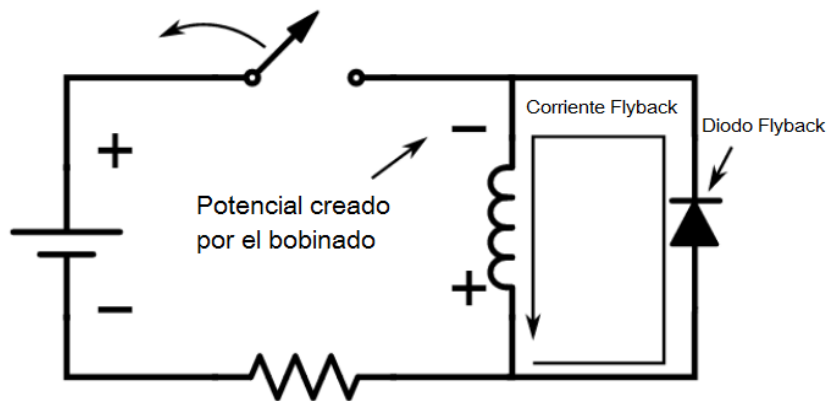


Fig 2.10. Ejemplo de circuito con diodo *Flyback*.

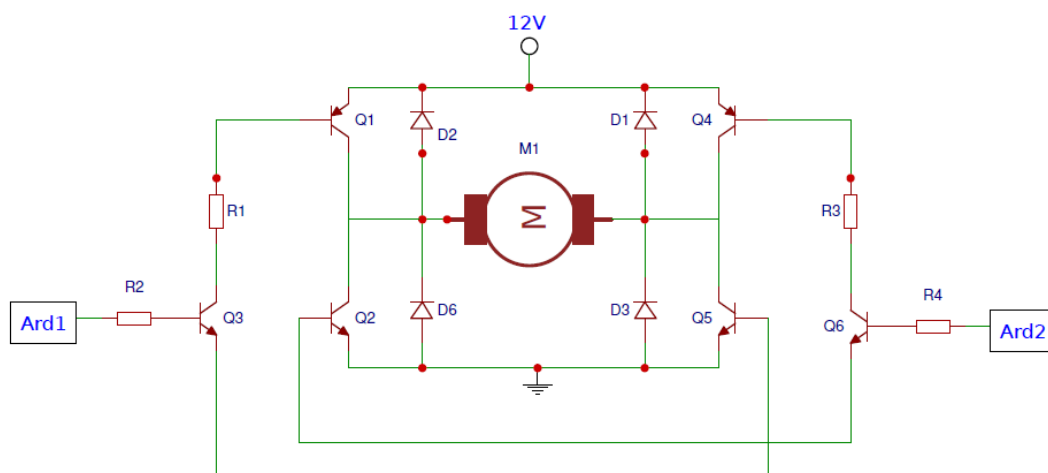
El primer modelo del puente en Hache que construimos se basaba en el diseño de la Fig. 2.9. Los elementos que usamos para el diseño y el testeo fueron los siguientes:

- 4 Transistores de potencia BJT npn, modelo TIC410
- 4 Diodos de potencia, modelo 1N4007

- 4 Resistencias de 1K $\Omega$
- 1 placa virgen revestida de cobre para la impresión de circuitos.

El diseño de la placa lo llevamos a cabo empleando el programa PCB Wizard 3. Tras terminarlo y asegurarnos que todas las conexiones se encuentran hechas, sacamos una impresión y mediante una insoladora grabamos la imagen en la placa. Cuando la placa se encontró terminada y revelada se procedió a la incorporación de componentes mediante soldado.

Sin embargo, este primer diseño resultó ser insuficiente para mover los motores de 12 v que habíamos colocado en la silla. El circuito de NPN limitaba mucho el voltaje que llegaba finalmente al motor. El sistema estaba diseñado para motores que funcionasen entre 3 y 5 v. Además la intensidad dependía de la que ofrecía el Arduino que es de unos 40 mA, un valor demasiado pequeño para nuestros motores. El resultado era que a la salida de los terminales obteníamos una tensión de 4,5 v y una corriente de unos 100mA completamente insuficiente no ya para una determinada tracción de las ruedas si no que ni siquiera servían para mover los motores. Realizando un análisis circuital descubrimos cual era el problema de nuestro primer diseño. La rama que seguía la corriente era la que activaba el puente en Hache (La de activación del ARDUINO con 5v) obteniéndose al final (salvo pérdidas) esos 4,5. El siguiente diseño fue propuesto para subsanar estos problemas:

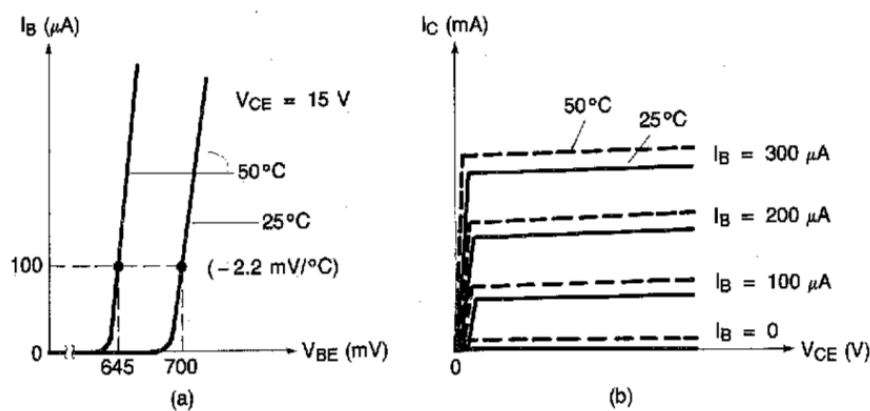


*Fig. 2.11. Puente en hache con transistores NPN y PNP*

El montaje se hizo añadiendo dos transistores PNP BD910, dos transistores NPN BD909 y reestructurando los demás elementos. En este caso, se consiguieron los 12v en los terminales del

motor necesarios para el movimiento correcto de la MARC. Además se disminuyeron las resistencias para aumentar la corriente que llegaba a los motores. Con el voltaje correcto en los terminales de los motores se procedió a efectuar una prueba. Tras un par de minutos de trayectoria autónoma, los cuatro BJT que para esa trayectoria estaban activados repartidos en los dos puentes en hache (Uno por cada rueda) comenzaron a sobrecalentarse y a empezar a expulsar humo. Unos segundos después se produjo la detención completa del dispositivo y tras una inspección breve, descubrimos que los puentes en hache se habían quemado.

El motivo de la avería del segundo diseño del puente en hache se podría haber solventado si hubiéramos tenido en cuenta el comportamiento a alta temperatura de los BJT (*Fig. 2.12.*). El aumento de la temperatura tiene efectos determinantes en la actuación de los transistores NPN y PNP, afectando a todos los parámetros. En concreto el aumento de las corrientes de pérdidas  $I_{CBO}$  y  $I_{CEO}$  que fueron las que desencadenaron la rotura de la controladora de motores. A medida que las corrientes de pérdidas aumentan, los motores demandan más corriente a la batería para compensar haciendo que aumente la temperatura, lo que hace que las corrientes de pérdidas se hagan más grandes y así sucesivamente hasta provocar el quemado del dispositivo.



*Fig. 2.12. Efectos de la temperatura en diferentes curvas del transistor en emisor común. (a) Caída de tensión en el diodo base-emisor en función de la corriente de base; (b) corriente de colector.*

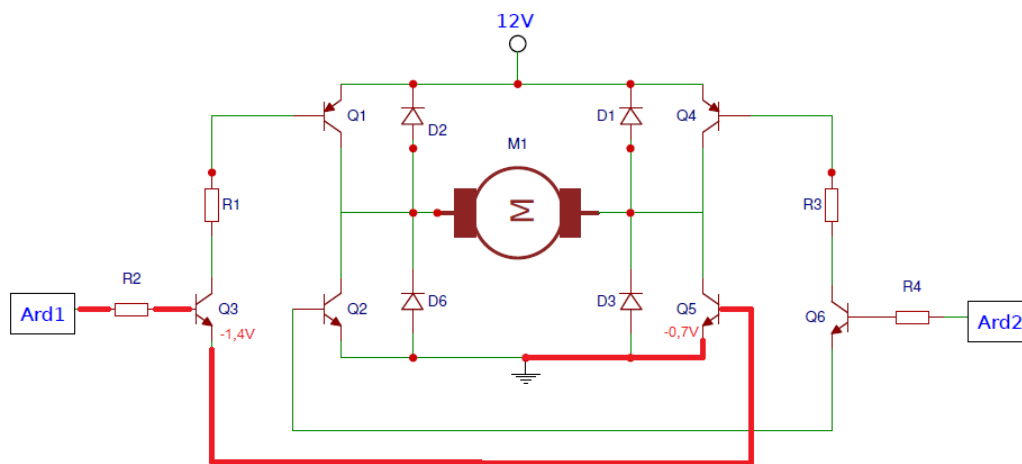
Para subsanarlo esta vez se cambió el diseño de la placa por el que actualmente conserva (*Ver Collage 2 en ANEXO I*) para permitir la colocación de disipadores de calor fijados al colector de nuestros transistores. Con estos se evitan las grandes temperaturas permitiendo el correcto funcionamiento tal y como muestran las fotografías. Así, la MARC quedó construida y dispuesta

junto con una silla adaptada para permitir la movilidad y el desplazamiento seguros de niños/as hasta 55 kilos de peso.

### 2.3. ANÁLISIS CIRCITAL DEL PUENTE EN HACHE.

Para nuestro diseño de la MARC necesitamos un puente en hache con una serie de características. Para empezar, ha de ser capaz de suministrar al motor una intensidad de 4 A (emplearemos fusibles de 4,15 A) y un voltaje entre 12 y 11,5 v. La batería que usamos da unos 12,5 v cuando se encuentra completamente cargada, quedando en 11,5 cuando ya llega el momento de recargarla de nuevo. Para el análisis supondremos un voltaje constante de 12 v y elegiremos las resistencias en consecuencia.

El esquema eléctrico de nuestro puente en hache definitivo es el que aparece en la *Figura 2.11*. Ha sido modelado empleando el programa online EasyDEA y simulado con el PROTEUS. Q1 y Q4 son transistores BJT PNP. Q2 y Q5 son BJT NPN. Q3 y Q6 son dos transistores TIC31c NPN. Aunque estos últimos se representen como transistores normales internamente cada uno son dos transistores NPN colocados formando un Darlington (sistema que permite amplificar la corriente.) Para hacer el análisis circuital iremos analizando las diferentes ramas.



*Fig. 2.13. Puente en hache con rama del Arduino destacada.*

Las salidas de un ARDUINO dan como máximo unos 40 mA de intensidad. Cómo vamos a tener muchos pines en uso debido a los sensores y el control Bluetooth, además de los propios puentes en hache conviene no sobrecargarlos. El HIGH del Arduino son 5 V, por lo que la caída de potencial que habrá en R2 y por simetría cuando se active el otro sentido de giro en R4 será:

$$V_{R2R4} = 5V - 1,4V - 0,7V = 2,9V$$

En Q5 cae 0,7V debido a la polarización base-emisor. En Q3 cae el doble debido a que se trata de un TIC31c y por tanto la corriente pasará por dos transistores NPN cayendo el potencial 0,7 por cada uno. Si queremos una corriente que no perjudique el funcionamiento del Arduino, podemos proponer 13mA con lo cual:

$$R2 = R4 = \frac{2,9V}{0,013A} = 220\Omega$$

Los TIC31c disponen de una  $\beta \approx 1000$ , por lo que la limitación de la corriente vendrá dada por el propio circuito, caso que veremos a continuación.

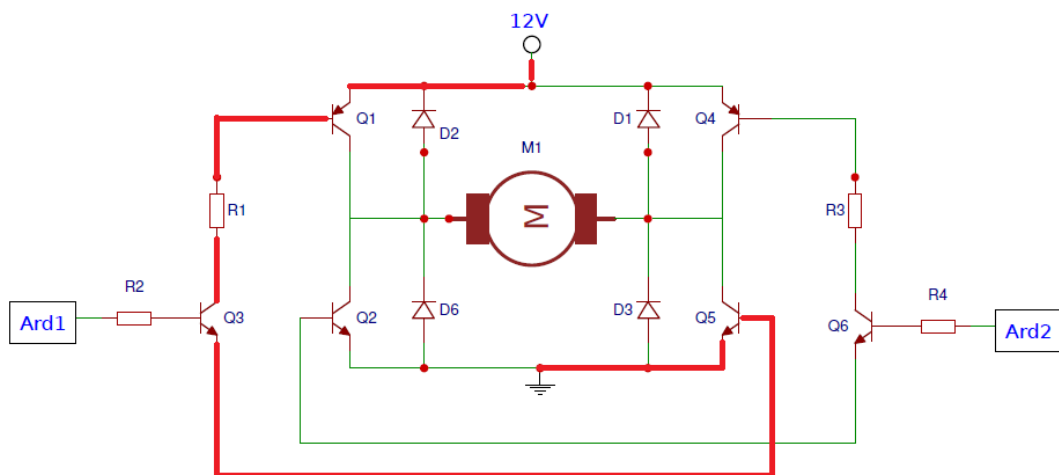


Fig. 2.14. Puente en hache con rama de los transistores de giro destacada.

Tanto Q1 como Q4 son BJT tipo PNP modelo BD910. Q2 y Q5 son NPN modelo BD909. Estos son modelos complementarios entre sí, lo que quiere decir que salvando las diferencias estructurales obvias poseen las mismas características de comportamiento en los circuitos. Esto es: potencia máxima que admiten, intensidad máxima del colector... En general valores extremos de funcionamiento y ganancias. En este caso, la  $\beta$  de ambos modelos es  $\beta \approx 15$  pues se trata de transistores de potencia. Queremos suministrar al motor unos 4A de corriente y entre 11,5V y 12V de voltaje. Por tanto, la corriente de saturación, que será la que active un determinado sentido de giro en el puente en hache deberá ser:

$$I_{sat} = \frac{I_{mot}}{\beta} = \frac{4A}{15} = 0,267A$$

La caída de potencial que experimentarán la resistencia R1 y por simetría R3 será:

$$V_{R1R3} = 12V - 0,7V - 0,2V - 0,7V = 10,4V$$

Con lo que el valor de resistencia queda como:

$$R1 = R3 = \frac{10,4V}{0,267A} = 39\Omega$$

El bataje se define como los vatios que puede soportar determinada resistencia antes de romperse y viene especificado de fábrica. Para elegir las resistencias de un circuito como el nuestro es un factor muy importante ya que requiere una potencia relativamente elevada. La potencia que va a experimentar nuestra resistencia será:

$$W = (I_{sat})^2 \cdot R1 = (0,267A)^2 \cdot 39\Omega = 2,72w$$

$$W_{bat} \sim 3w$$

Para aproximar las resistencias que usaremos deberán ser de un bataje de 3 vatios.

Tras los análisis, los componentes quedarían como:

$$R2=R4=220 \Omega$$

$$R1=R3= 39 \Omega, \text{ con un bataje de } 3w$$

#### **2.4. PWM (*Pulse Width Modulation*)**

Una vez conseguido un puente en Hache funcional y con la capacidad de trabajar con la suficiente corriente para mover los motores DC de 12 v, pasamos al control preciso de la velocidad. La MARC debe desplazarse de forma extremadamente segura puesto que va a ser tripulada por un/a niño/a que no puede responder en el caso de que se des controle. Es decir, no puede moverse con la rapidez que es capaz de suministrar la batería. Además, cuando detecte un obstáculo en su camino o determine por seguimiento de línea que debe girar, ha de hacerlo de forma suave y sin peligro alguno. La regulación de la velocidad la hemos considerado al hacer el diseño del circuito, razón por la cual no hemos usado relés. Con el sistema de transistores podemos controlar el voltaje final que llega al motor usando una PWM.

La PWM ó *Pulse Width Modulation* permite simular una señal analógica en el Arduino que se trata de un dispositivo digital. Este “truco” es habitual ya que la mayoría de los automatismos no están preparados para emitir de forma analógica. Tampoco de forma sincretizada, esto es con diferentes saltos de tensión. Lo que sí pueden hacer son las dos señales digitales (0 y 1) con la forma  $-V_{cc}$  y  $V_{cc}$ . En el caso que nos ocupa, el dispositivo ARDUINO MEGA 2650 da ó 0v ó 5v.

No obstante, nosotros encontramos una solución a esto en la PWM. A grandes rasgos, lo que hacemos es activar una señal digital durante un tiempo determinado y luego apagarla, repitiendo el proceso siguiendo una frecuencia marcada. Los componentes experimentarán un valor analógico equivalente al promedio de la tensión aplicada.

Existen varias formas de hacer esta simulación. Una de ellas es la modulación por ancho de pulsos, *PWM*, que mantiene la frecuencia constante (*se mantiene el tiempo de disparo entre pulsos*), mientras que se hace variar su anchura.

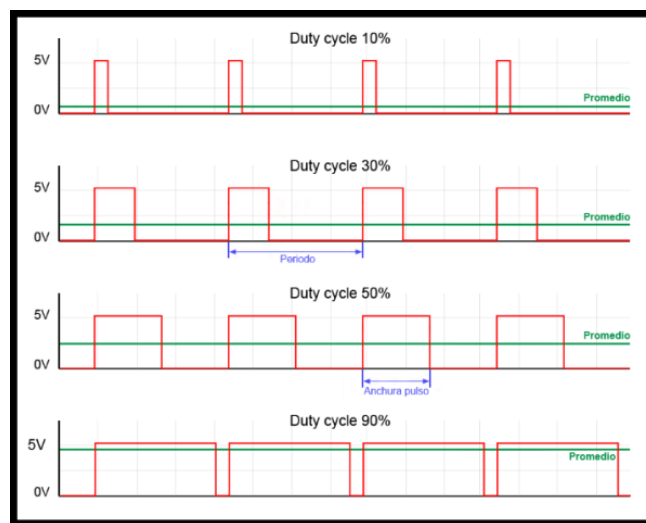


Fig. 2.14. Ejemplo de señal PWM en Arduino

Llamamos “*Duty Cycle*” a la relación entre el tiempo de encendido de la señal con respecto al total. Se expresa de manera general como porcentaje. La señal promedio se obtiene como el producto del “*Duty Cycle*” y la tensión máxima. La expresión es la siguiente:

$$V_{medio} = (V_{cc+} + V_{cc-}) \cdot \frac{DutyCycle}{100}$$



Es importante tener en cuenta para el diseño del circuito, que en una salida PWM el valor de tensión realmente es  $V_{cc}$ . El dispositivo será dañado si soporta como máximo 3V y lo alimentamos con una PWM de 5V por lo que tendremos que tener cuidado.

En nuestro caso este asunto no nos preocupa, ya que precisamente empleamos el PWM para reducir el voltaje que aplicamos a los motores y poder variar su velocidad. La inercia del motor se encargará de que el efecto de los pequeños apagados que presente el PWM sea despreciable. Si se notaran ruidos o vibraciones indeseadas podríamos variar la frecuencia de la pulsación para solventarlo.

En el diseño también tuvimos en cuenta la rápida conexión y desconexión que esta señal produciría en el circuito. Gracias a los diodos Flyback, el voltaje inducido tras la desconexión que podría dañar algún componente o el circuito, es descargado inocuamente. Por otro lado, los transistores BJT sirven de forma excelente para amplificar señales PWM, al contrario que los transistores MOS donde los efectos capacitivos del mismo harían que precisáramos de un driver previo de amplificación para evitar que el transistor trabaje en zona activa.

Arduino implementa por hardware salidas PWM en varios de sus pines, que aparecen identificados en la placa con el símbolo “~” junto al número del pin. También podemos emular por software señales PWM, pero con la carga de trabajo adicional que ello supone para el procesador. En el caso del Arduino Mega disponemos de 15 salidas PWM (Desde el pin 2 hasta el 13 y 44 a 46).

Los temporizadores que posee el Arduino por hardware sirven para controlar las frecuencias de las funciones PWM. Cada uno de ellos puede albergar de dos a tres salidas PWM. Un registro de comparación por cada una de las salidas lo permite. La salida invierte su valor cada vez que se alcanza el tiempo determinado por el registro de comparación.

Cada salida conectada a un mismo temporizador comparte la misma frecuencia, aunque pueden tener distintos Duty cycles, dependiendo del valor de su registro de comparación.

Para el funcionamiento de la MARC regulamos que la velocidad óptima y segura para el movimiento de la plataforma con un peso de unos 52 kg de carga debía emplear un 75% de PWM. El código que integra PWM en el movimiento de la MARC se encuentra reflejado en el ANEXO II.

## 2.5. SENSOR DE ULTRASONIDOS

Con el objetivo de evitar que en el movimiento autónomo de la Plataforma MARC se tope con obstáculos que produzcan choques peligrosos o desviaciones incontrolables de la trayectoria, la plataforma llevará incorporada una serie de sensores de proximidad basados en la tecnología de ultrasonidos dispuestos en la parte delantera. Estos sensores descansarán en soportes de madera orientables para poder predecir mejor los posibles objetos y establecer la mayor cantidad de terreno.

Por comodidad y compatibilidad con el micro-controlador utilizado, hemos decidido emplear sensores de proximidad HC-SR04 (*Fig. 2.15.*). El HC-SR04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, el HC-SR04 se destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio.



*Fig. 2.15. Sensor HC-SR04*

Su funcionamiento se basa en el envío de un pulso de alta frecuencia en un espectro que el ser humano no puede escuchar. Este pulso rebota en los objetos cercanos y es reflejado en dirección al sensor, que dispone de un micrófono adecuado para esa frecuencia. Midiendo el tiempo entre pulsos, conociendo la velocidad del sonido, podemos calcular la distancia del objeto contra cuya superficie impactó el impulso de ultrasonidos.

Los sensores de ultrasonidos son sensores baratos y sencillos de usar. El rango de medición teórico del sensor HC-SR04 es de 2cm a 400 cm, con una resolución de 0.3cm. En las pruebas realizadas nos hemos dado cuenta, sin embargo, que el rango de medición real es mucho más limitado, en torno a 20cm a 2 metros.

Los sensores de ultrasonidos son sensores de escasa precisión. La orientación de la superficie a medir puede provocar que la onda se refleje, falseando la medición. Por ello disponemos de varios sensores que tomarán una orientación definitiva cuando se efectúen las pruebas de recorrido para que sea óptima la detección de obstáculos. Además, no resultan adecuados en entornos con gran número de objetos, dado que el sonido rebota en las superficies generando ecos y falsas mediciones. Tampoco son apropiados para el funcionamiento en el exterior y al aire libre. Como el uso de la Plataforma MARC está configurado para entornos controlados dentro del Centro y las Aulas no nos afectan demasiado estas limitaciones. Aun así, por la seguridad del menor, se efectuarán todas las pruebas pertinentes para garantizar su correcto funcionamiento.

Su funcionamiento, cómo ya se ha mencionado, es bastante sencillo: El sensor mide el tiempo que transcurre entre el envío de un pulso sonoro hasta su recepción. Sabemos que la velocidad del sonido es 343 m/s en condiciones de temperatura 20 °C, 50% de humedad, presión atmosférica a nivel del mar. Transformando unidades resulta:

$$343 \frac{m}{s} \cdot 100 \frac{cm}{m} \cdot \frac{1}{1000000} \frac{s}{\mu s} = \frac{1}{29,2} \frac{cm}{\mu s}$$

Es decir, el sonido tarda 29,2 microsegundos en recorrer un centímetro. Por tanto, podemos obtener la distancia a partir del tiempo entre la emisión y recepción del pulso mediante la siguiente ecuación.

$$Distancia (cm) = \frac{Tiempo (\mu s)}{29,2 \cdot 2}$$

El motivo de dividir por dos el tiempo (además de la velocidad del sonido en las unidades apropiadas, que hemos calculado antes) es porque hemos medido el tiempo que tarda el pulso en ir y volver, por lo que la distancia recorrida por el pulso es el doble de la que queremos medir

Para activar el sensor necesitamos generar un pulso eléctrico en el pin Trigger (disparador) de al menos 10us. Previamente, pondremos el pin a Low durante 4us para asegurar un disparo limpio.



El diodo LED está diseñado para emitir en una longitud de onda infrarroja, esto es, menor que la luz visible y mayor que la microondas. Según el datasheet del CNY70 la longitud de onda en la que opera el componente es 950 nm. Al reflejarse, los rayos infrarrojos entran en el fototransistor donde encontramos un material piroeléctrico, natural o artificial, normalmente formando una lámina delgada dentro del nitrato de galio [Ga(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>], nitrato de Cesio (CsNO<sub>3</sub>), derivados de la fenilpirazina, y ftalocianina de cobalto. Normalmente están integrados en diversas configuraciones (1,2,4, píxeles de material piroeléctrico).

Los fototransistores combinan en un mismo dispositivo la detección de luz y la ganancia. Su construcción es similar a la de los transistores convencionales, excepto que la superficie superior se expone a la luz a través de una ventana o lente. Los fotones incidentes generan pares electrón-hueco en la proximidad de la gran unión CB. Las tensiones de polarización inversa de la unión CB, llevan los huecos a la superficie de la base y los electrones al colector. La unión BE polarizada directamente, hace que los huecos circulen de base a emisor mientras que los electrones fluyen del emisor a la base. En este punto la acción convencional del transistor se lleva a cabo con los electrones inyectados del emisor cruzando la pequeña región de la base y alcanzando el colector que es más positivo. Este flujo de electrones constituye una corriente de colector inducida por la luz. Los pares electrón-hueco foto-inducidos contribuyen a la corriente de base y si el fototransistor se conecta en configuración de emisor común, la corriente de base inducida por la luz, aparece como corriente de colector multiplicada por  $\beta$  ó hfe.

Estos serán los sensores SI, SD y SC colocados en el centro de la MARC para permitir la detección de línea negra. (Ver Fig. 2.2. y Collage 3 en ANEXO I)

### **2.3. CONCLUSIONES Y TESTEO DE LA MARC CON PESO INANIMADO DE 40 Kg**

En este apartado vamos a describir las pruebas que se hicieron una vez la Plataforma MARC fue construida y se le fue incorporada la estructura de una silla de ruedas donada por el Mercedes San Roma tal como se aprecia en las fotografías del *Collage 1* del ANEXO I.

#### **PRUEBA DEL MODO EXPLORACIÓN**

Para la prueba del modo de Exploración, se activó la MARC en un entorno libre de mesas y otro mobiliario que se sustentara en patas, pues podían esquivar el control de proximidad de los sensores

de ultrasonidos. El valor umbral de distancia antes del testeo se había puesto en 20 cm, pero comprobamos que la inercia que llevaba la plataforma hacía que el choque se produjese aunque los motores se detuvieran. Así, el valor fue cambiado a 55 cm, que es como aparece definitivamente en este proyecto.

Con este valor, la Plataforma MARC podía redirigir su trayectoria sin peligro mientras cargaba con un peso 40 kg sobre la silla simulando el peso de un tripulante real. Téngase en cuenta que la MARC está orientada a niños/as con una discapacidad motora severa cuyo peso oscila entre los 40  $\pm$  5 Kg y que solo la estructura de hierro de la silla de seguridad pesa 12,5 kg.

### PRUEBA DEL MODO SEGUIMIENTO DE LÍNEA

La prueba del Modo de Seguimiento de línea significó cambios determinantes en el Código final implementado y en cómo implementar el PWM. La prueba se realizó al igual que la anterior con una carga de 40 Kg sobre la silla ensamblada. En este caso se hizo en un amplio pasillo del IES Heliópolis con la intención de que recorriera un tramo serpenteante del recorrido y acto seguido entrara en una de sus aulas. Esto responde al uso que quiere darle el Centro Mercedes San Roma al dispositivo, lo que permitirá que recorra distintas salas en las que los niños podrán hacer actividades.

Aunque pudo seguir las líneas recorriendo la trayectoria en ambos sentidos (Saliendo del aula y recorriendo el pasillo y viceversa) en una de las pruebas, los rápidos cambios de trayectoria de la MARC en los giros provocaron el quemado de uno de los transistores PNP. Después de pensar durante un tiempo que podría haber ocurrido para que esto sucediera, ya que los transistores estaban sujetos a un radiador que debería haber evitado que se estropeará llegamos a una conclusión que parece haber solucionado el problema (ó al menos así lo demuestran las pruebas que hicimos a posteriori). Según las órdenes del Arduino, si la MARC se encontraba avanzando sobre una línea recta y de pronto la línea se curvaba induciendo un giro en la MARC, la activación de la rama del cambio de sentido de una rueda en el puente en hache se hacía de forma completamente inmediata a la desactivación de la otra (Y en algunos casos incluso un poco antes por la programación que había hasta entonces). Esto, suponemos, hacía que los transistores estuvieran en saturación en el momento en el que el motor se descargaba y en lugar de hacerlo a través de los diodos, fundía los transistores. Para solucionarlo añadimos a la programación una función *protec()* que apagaba los transistores durante una décima de segundo antes de cada cambio de orden o dirección, permitiendo así que los

motores se descargaran sin perjudicar los transistores. A partir de entonces no volvieron a sobrecalentarse ni fallar.

Otra cosa que decidimos cambiar tras las pruebas fue la forma en que suministrábamos el PWM al puente en hache. Para el peso de 40 kg con el que empleábamos el seguimiento de línea, la MARC llevaba programada un PWM fijo del 75% y esto permitía un seguimiento perfecto de una línea negra sobre suelo blanco de unos 3 cm de espesor. Pero al quitárselo, es decir, al dejar solo la silla de 12,5 kg, la velocidad alcanzada por la MARC hacía salirse con una frecuencia molesta de la trayectoria de la línea. Para solventarlo propusimos el añadido de un potenciómetro como entrada al panel de control de la MARC situado en el exterior de la caja azul. Este potenciómetro se planteó como una nueva entrada del ARDUINO cuya variación permitiera variar el PWM suministrado y por tanto controlar la velocidad a la que se moviera la MARC. Con esto se podría calibrar en función del peso del niño cual es la velocidad óptima y segura para cada uno de los modos y también de las actividades a realizar.

#### PRUEBA DEL MODO REPULSIÓN DE LÍNEA

Las pruebas de este Modo se hicieron tras las modificaciones pertinentes y explicadas en los apartados anteriores y en las mismas condiciones (Peso de 40 kg sobre silla de 12,5 kg). Los resultados fueron satisfactorios sin ninguna incidencia.

#### PRUEBA DEL MODO CONTROL BLUETOOTH

Gracias a la sencillez para la programación que nos ofreció el software del MIT APP Inventor este modo respondió a la perfección en el testeo que hicimos. En un terreno despejado y abierto (El patio de recreo del IES Heliópolis) testamos cuanto tardaba la señal bluetooth en perderse y desconectarse del dispositivo consiguiendo una conexión de aproximadamente 50 m. En cualquier caso, no se recomienda alejarse tanto del niño que en ese caso se encontrase a bordo de la MARC.

Como modificación final se le añadió a la MARC un diferencial que utilizamos como botón de encendido y apagado de la plataforma. Este servía también para evitar el quemado de fusibles o componentes reaccionando ante corrientes altas con un apagado de emergencia que se fijó en el paso de 4,15 A.

### 3. LICORNIO LÁSER ó LIGHTCORN

El licornio es un aparato puramente mecánico. Básicamente es un puntero frontal sujeto a un casco que se ajusta a la cabeza a través de correas. (*Ver Fig. 1.1.*) Niños y adultos con movilidad reducida o nula en sus extremidades pero capaces de movimientos cervicales pueden utilizar el licornio para teclear en un ordenador adaptado o incluso dibujar en un lienzo. Sobre el teclado, el usuario puede pulsar un botón determinado controlando el descenso y la posición de la punta con el cuello. No sólo sirve entonces como una nueva herramienta para la comunicación del usuario, si no que ayuda a la concentración del niño/a

El empleo del licornio para la activación de juguetes o la realización de actividades de estimulación está limitado al entorno más cercano del/la niño/a (La longitud del puntero). Basándonos en la idea del licornio mecánico, decidimos plantear un Licornio Láser empleando un puntero láser como activador de los circuitos. Junto a él se desarrollarán pulsadores que se asociarán a juguetes y demás elementos de estimulación del/la niño/a. El puntero láser, al pasar por el pulsador, permitirá encender el muñeco o juguete (*Ver Fig. 1.2.*).

También crearemos un Interruptor Diana, que permita dejar fijas las posiciones de encendido y apagado al paso del láser. Lo desarrollaremos empleando biestables RS (Reset-set). En el dispositivo se presentarán dos zonas fotosensibles diferentes, una para el encendido y otra para el apagado. Esto se hace para evitar el efecto rebote que ocurriría dentro del circuito si solo tuviéramos una zona (El láser sobre la zona encendería y apagaría el circuito una y otra vez). El dispositivo, conectado a la corriente, tendría zona de encendido y se indicaría con un LED verde. Al pasar el láser por allí, permitiría encender manteniendo en este estado una radio, una lámpara o cualquier otro elemento que el centro dispusiera para la estimulación sensorial del usuario. Para apagarlos solo tendría que hacer pasar la luz del láser por delante de la zona indicada con el LED rojo.

Junto al licornio Láser desarrollamos cuatro pulsadores fotosensibles y dos interruptores fotosensibles, completamente adaptables a las necesidades y actividades del centro.



### 3.1. COMPONENTES

A continuación se describen los componentes necesarios para crear los dispositivos asociados al Licornio Láser.

#### 3.1.1. BIESTABLES RS

Los circuitos digitales se caracterizan porque para su funcionamiento precisan de datos binarios. Estos circuitos pueden diseñarse como contadores, separadores, para efectuar operaciones de diversa complejidad (Sumas, restas...). En definitiva, trabajan con los datos según nuestras necesidades. Sin embargo las compuertas digitales, por su funcionamiento, relacionan los datos de las entradas con los de las salidas. Por tanto si las entradas cambian, las salidas deberán hacerlo también. En este caso, cabría preguntarse cómo podríamos mantener los datos en algún lugar del circuito. Para almacenar una serie de datos almacenados hasta que los necesitemos existen las memorias. Las memorias son sistemas que evitan que un determinado dato se pierda, al menos hasta que nosotros lo consideremos prescindible. Con esto conseguimos variar la información contenida en un circuito mediante nuestra voluntad. Los biestables aparecen entonces como el núcleo de las memorias. Formados por una combinación de puertas lógicas, se diferencian de estas por su capacidad de almacenaje de datos mediante reglas impuestas desde el mismo circuito.

En general, la tecnología que nos va a permitir desarrollar los interruptores sin meter por medio micro-controladores como el Arduino es la de los biestables, concretamente los RS (Reset-Set). La característica principal de los Biestables RS es su capacidad de encontrarse en un estado u otro durante cualquier cantidad de tiempo siempre y cuando no se altere el circuito. Esta es la forma que tienen de contener la información y su uso está ampliamente extendido en el mundo digital.

Los biestables RS son una rama de una familia más grande de componentes denominada los Multivibradores. Estos son osciladores de onda cuadrada. En electrónica digital un oscilador es todo aquel componente que transforme la energía de corriente continua en corriente alterna de una determinada frecuencia. Los Multivibradores pueden ser:

- *ASTABLES*: A partir de la fuente de alimentación generan ondas.
- *DE FUNCIONAMIENTO IMPULSADO*: Su estado de reposo será estable hasta que le llegue una señal determinada.
- *BIESTABLES*: En estos están presentes las dos características.

En concreto el biestable RS se define como un dispositivo capaz de almacenar temporalmente dos estados (alto y bajo). El cambio se realiza a través de sus puertas:

- R: Borrado (Reset) puesta a nivel bajo o 0 de la salida.
- S: Grabado (Set) puesta nivel alto o 1 de la salida.
- Q: La variable.

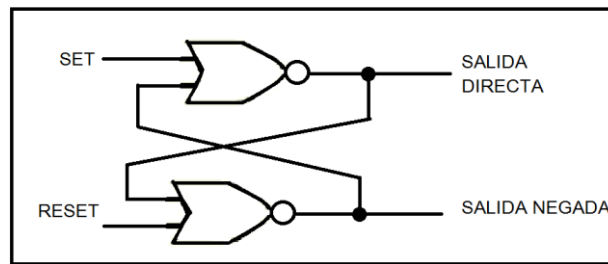
El biestable permanecerá en el estado en el que quedó tras la última operación (Reset o Set) a menos que se activen alguna de las entradas. Si ambas entradas son activadas a la vez producen un resultado indeseable ya que provocaría que las salidas directa y negada queden con el mismo valor. Si el biestable está construido con puertas lógicas tipo NOR quedará en nivel bajo y si son de tipo NAND en el nivel alto. El problema en ambos casos sería el mismo: No podría determinarse el estado al que quedaría la salida al desactivar ambas entradas. Cuando observamos las tablas de la verdad de estos componentes vemos las siglas N.D. (No deseado).

Para los circuitos combinacionales la tabla de la verdad pasa a conocerse como tabla de funcionamiento. El cambio de nombre no es caprichoso pues a diferencia de los circuitos combinacionales, en los secuenciales entra en juego parámetro esencial para el estudio de estos (Tabla 3).

Entradas $t_n$		Salida $t_{n-1}$
S	R	Q
0	0	Qo
0	1	0
1	0	1
1	1	No deseado

Tabla 3. La tabla de funcionamiento del biestable S-R

En la Tabla 3 observamos el comportamiento del circuito a diferentes combinaciones de estado de las puertas. Qo representa el estado inicial en el que se encontraría el sistema. A su vez, “ $t_n$ ” y “ $t_{n-1}$ ” representan respectivamente el instante de tiempo en el que se aplican las entradas y la inmediata respuesta posterior del circuito.



*Fig 3.1 Esquema de un biestable RS compuesto por dos compuertas NOR.*

El interruptor que será activado por el licornio láser estará basado en este componente. Se dispondrán dos zonas diferenciadas por un LED ROJO para el apagado y uno VERDE para el encendido en la que habrá un receptor de la luz del láser que en este caso será un LDR. El niño/a con un sencillo movimiento cervical podrá apuntar a diferentes zonas de su Aula para encender radios, juguetes y demás elementos, así como apagarlos a voluntad. Con esto se consigue una mejor interacción con el entorno además de la estimulación sensorial que le produzca cada uno de los elementos que consiga encender. Cuando el puntero pase por la zona fotosensible verde, el aparato u objeto permanecerá en el estado de encendido, evitándose el efecto rebote. En la zona roja, el puntero láser detendrá el dispositivo, manteniéndose el estado del circuito.

### 3.1.2. FOTORESISTOR ó LDR

Tanto nuestro interruptor fotosensible como los activadores precisan de unas zonas orientadas y de fácil acceso para la luz del puntero láser. Al llegar, la luz deberá interaccionar con algún componente del circuito permitiendo un cambio, ya sea de un estado a otro del circuito mantenido en el tiempo como en el caso del interruptor, o momentáneo como los activadores. Esto se hará empleando un componente llamado Fotorresistor ó LDR (Ligth-Dependent Resistor).

Un fotorresistor o fotorresistencia es un componente electrónico cuya resistencia tiene una dependencia inversamente proporcional a la luz que recibe. Puede también ser llamado fotoconductor, célula fotoeléctrica ó LDR (*Ver Fig. 3.2.*), siendo este último el más utilizado. Su cuerpo está formado por una célula fotorreceptora y dos patillas.

Si bien los valores que puede tomar una LDR en total oscuridad y a plena luz puede variar un poco de un modelo a otro, en general oscilan entre unos 50 a 1000 ohmios (1K) cuando están iluminadas

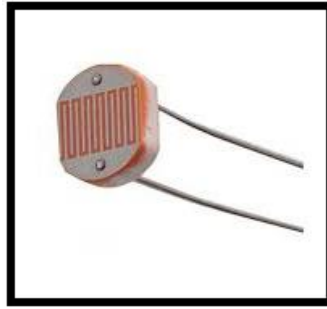
(por ejemplo, con luz solar) y valores comprendidos entre 50K (50,000 Ohms) y varios megohmios (millones de ohms) cuando está a oscuras. Desde el punto de vista de los materiales más empleados en su construcción, los LDR suelen fabricarse con materiales de estructura cristalina. Los más utilizados son aleaciones de cadmio, (seleniuro de cadmio y sulfuro de cadmio), para aprovechar sus propiedades fotoconductoras.

El funcionamiento de este componente se basa en el efecto fotoeléctrico. El efecto fotoeléctrico es un fenómeno que se produce cuando un fotón es capaz de arrancar un electrón si tiene la energía suficiente o permitir que suba un determinado nivel energético. El LDR emplea un semiconductor de alta resistencia (Por ejemplo, seleniuro de cadmio, CdS) que es colocado en un sitio específico para que experimente variaciones de luz. Si los fotones que interaccionan con su superficie tienen una alta frecuencia, las elasticidades del semiconductor los absorberán dando a los electrones la energía necesaria para pasar a la banda de conducción. Tanto el electrón liberado como el hueco que deja son portadores de carga y por tanto conducen la electricidad. De este modo la resistencia disminuye. Los valores típicos varían entre 1 M $\Omega$ , o más, en la oscuridad y 100  $\Omega$  con luz brillante.

Las células de sulfuro del cadmio son ampliamente utilizadas por la facilidad de este compuesto para variar su resistencia con la cantidad de luz recibida. Cuanta más luz incide, la resistencia se hace más baja. El espectro de luz que es capaz de hacer reaccionar el dispositivo es también muy amplio, desde el infrarrojo hasta el ultravioleta por lo que barre toda la luz visible.

La variación de la resistencia a medida que se cambia la luz recibida presenta cierta histéresis en el tiempo, diferente si pasamos desde iluminación intensa a oscuridad o viceversa. Esto crea una limitación en el uso de los LDR para aplicaciones en las que la señal luminosa cambia muy rápido. Para un LDR típico, la respuesta temporal es del orden de 0,1s. Este comportamiento puede ser también aprovechado para filtrar variaciones rápidas de luz que harían inestable un sensor. En otras aplicaciones como pudiera ser distinguir entre día y noche, o nuestra intención de emplearlo en el licornio, esta lentitud no influye.

Hay muchos y diversos tipos y se encuentran extendidos en muchos artículos de consumo, (Cámaras, medidores de luz, relojes con radio, alarmas de seguridad o el alumbrado de calles.)



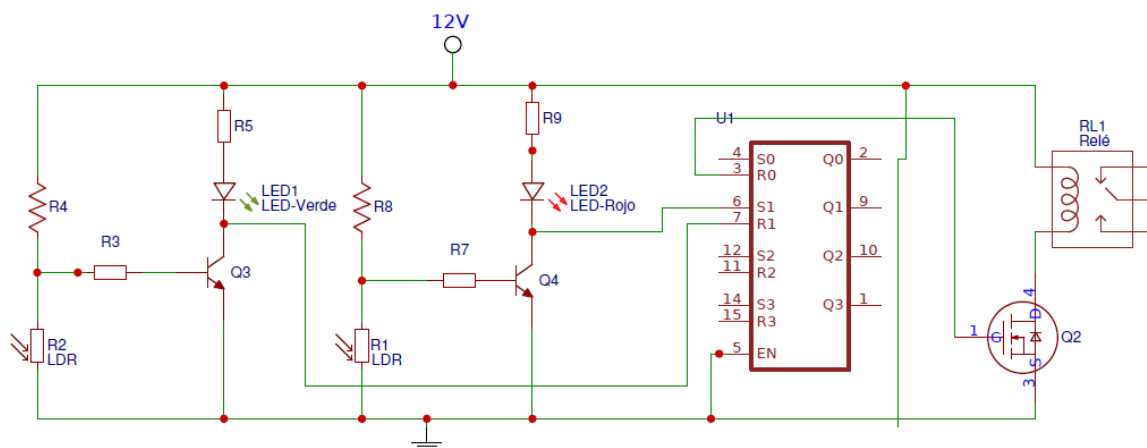
*Fig 3.2. Fotoresistor*

Este componente nos permitirá reconocer la llegada de la luz del Láser proveniente del Licornio para poner en marcha nuestros dispositivos, el activador y el interruptor.

### 3.1.3. ANÁLISIS CIRCUITAL DEL INTERRUPTOR DIANA DEL LIGTHCORN

El interruptor diana se basa en la tecnología de los biestables RS para su funcionamiento. Sin embargo, el calibrado del interruptor depende de otros parámetros como por ejemplo las diferencias entre la cantidad de luz del “oscuro” (No está propiamente en oscuridad sino a la luz normal de la habitación en la que se acople) ó el “iluminado” (luz del láser sobre la zona fotosensible.) Para calibrar estos parámetros haremos un análisis circuital para decidirnos por las resistencias que mejor se adapten.

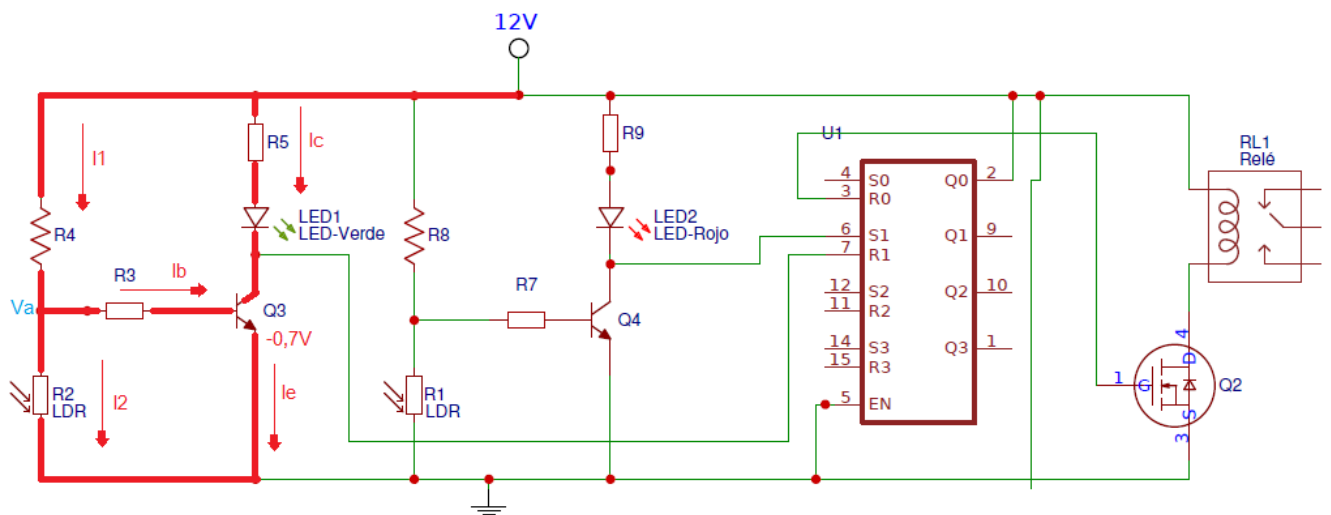
El siguiente esquema eléctrico representa el circuito de nuestro interruptor diana (*Fig 3.3.*). Al igual que en el caso de los puentes en hache ha sido modelado usando el software online EasyDEA y simulado en PROTEUS.



*Fig 3.3. Esquema eléctrico del Interruptor Diana.*

El biestable RS empleado se trata de un 4043 de puertas NAND, representado por la *Fig 3.3*. como el componente nombrada como U1. Empleamos un MOSFET como puerta previa para activar el Relé debido a que la variable de salida del 4043 posee una tensión elevada, 12 V, pero apenas tiene intensidad. De hecho, por sí solo, un 4043 apenas es capaz de encender un par de LEDs. Las salidas del Relé que aparecen sin conexión hacen conmutar la corriente de un enchufe doméstico con la entrada de alimentación de cualquier tipo de aparato que pueda enchufársele.

Los LDR vienen indicados bajo los nombres R2 y R1. Previamente a este análisis se ha hecho una comprobación sobre cómo responden estos componentes a las condiciones de “oscuro” y “iluminado” y los valores que alcanzan. Para el “oscuro”, que en este caso se refiere a la iluminación natural de la habitación donde se encuentre el sensor, los LDR toman valores en torno a 15 kΩ. Para el ambiente iluminado, esto es, con la luz del láser apuntando directamente al sensor, la resistencia oscila entre 2-3kΩ. Por tanto, a la hora de desarrollar el conmutador haremos las pruebas buscando que la conmutación se haga cuando la resistencia se encuentre por debajo de 10 kΩ.



*Fig 3.4. Esquema del Interruptor Diana con la Rama 1 destacada. Nos encontramos en la situación de “oscuridad”.*

Para el análisis circuital tendremos en cuenta las ramas señaladas, las cuales controlan la zona fotosensible verde, preparada para el encendido. En el caso de la zona roja el análisis es análogo. Para facilitar la comprensión de los cálculos proponemos un punto de potencial Va justo después de R4. Primero empezamos planteando las ecuaciones que surgen y luego realizaremos algunas aproximaciones.

$$I_1 = \frac{12V - V_a}{R_4}$$

$$I_2 = \frac{Va}{R_{LDR}}$$

$$I_b = \frac{Va - 0,7}{R3} = I_1 - I_2$$

De todo lo especificado, lo único que conocemos es el voltaje de la fuente de alimentación, puesto que se trata de un cargador reciclado de unos 12 V. Cómo queremos que nuestro interruptor diana conmute cuando el LDR baje de 10 kΩ, propondremos  $R_{LDR} = 10 \text{ k}\Omega$ . Además, el transistor opera en saturación cuando la polarización base-emisor es mayor de 0,7 V, por lo que para hacer unos cálculos aproximados podemos tomar  $Va \geq 0,7 \text{ V}$  como valor del voltaje umbral a partir del cual la intensidad  $I_b$  comenzará a saturar a través del transistor. Hasta entonces se hallará en corte.

Además, la necesidad de la resistencia R3 sirve para el control de intensidad que llega hasta la base. De esta forma la tensión del LDR no tiene que ser necesariamente 0,7 V y se evita que al llegar a 0,7 V toda la intensidad pase de golpe por el transistor así que podemos proponer 220 Ω y realizar pequeños ajustes si se diera el caso. Con estas sustituciones las ecuaciones quedarían como:

$$I_b = \frac{Va - 0,7}{R3} = I_1 - I_2 = 0 = \frac{12 - 0,7}{R4} - \frac{0,7}{10000}$$

$$R4 = (12 - 0,7) \cdot \frac{10000}{0,7} = 161 \text{ k}\Omega$$

Esa sería el valor una resistencia R4 para que la conmutación se diera en 10 kΩ. Si en función de la luz del aula donde finalmente se instale el interruptor diana para el LIGTHCORN quisiéramos una sensibilidad u otra podríamos obtenerla sustituyendo la resistencia R4 por un potenciómetro con el suficiente rango y siguiendo la siguiente gráfica hecha en MATLAB que relaciona los valores de R4 con la fotoresistencia  $R_{LDR}$ :

En el asterisco se indica el punto usado como referencia para el primer diseño. La resistencia R5 se evalúa con la idea de reducir o aumentar la luminosidad del LED. En nuestro caso hemos usado una de 1 kΩ. En el estado de “Oscuridad” el transistor se encuentra en saturación lo que implica que la señal que manda al biestable RS 4043 es 0,2 V, que no es sino la que marca la polarización colector-emisor del transistor. Esta señal la lee el dispositivo como 0. El caso del “Iluminado” es el siguiente:

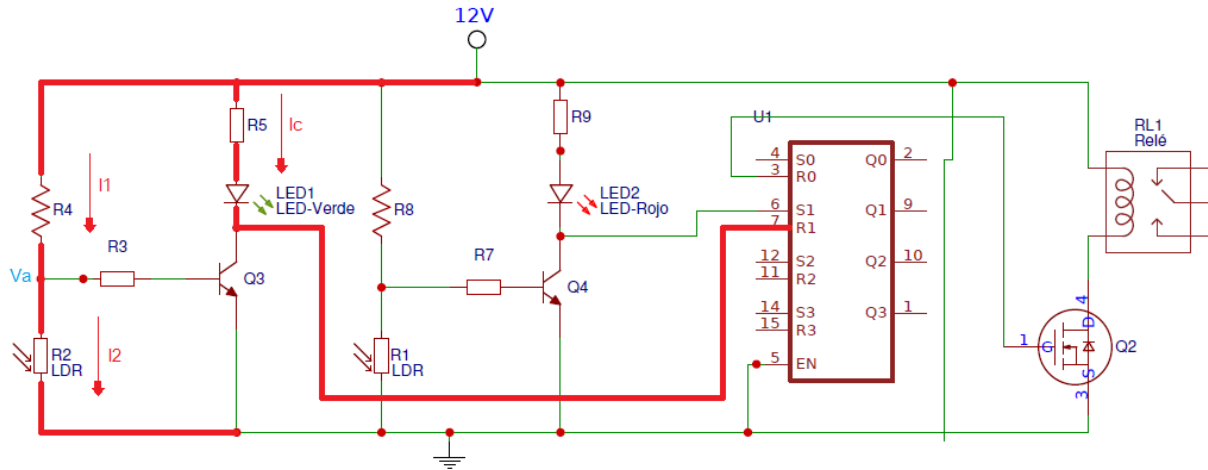


Fig 3.5. Esquema del Interruptor Diana con rama destacada. Nos encontramos en la situación de “Iluminación”.

La resistencia LDR toma entonces valores del orden de los 2-3 k $\Omega$  por lo que la mayor parte de la intensidad circulará a través de esa rama. Las ecuaciones quedarían como siguen (No se toman errores pues los datos son orientativos para describir el comportamiento):

$$I_1 + I_2 = I = \frac{12}{(161 + 3)} \sim 0,073 \text{ A}$$

$$V_a = 12 - R_4 \cdot I \sim 0,25V$$

Casi toda la tensión ha caído ya tras la resistencia R4, por lo que Va queda muy por debajo de su valor umbral. Esto impide la activación del transistor, que queda en corte. La señal que se envía al 4043 es algunos voltios mayor que 5 (El resultado concreto depende de la iluminación que queramos para nuestro LED y la resistencia que hayamos escogido) lo que es suficiente para que el componente interprete un 1.

En el caso del tramo de “apagado” indicado por el segundo LDR y el LED rojo es completamente análogo en su análisis al verde, por lo que no perderemos el tiempo reiterando la explicación.

### 3.2. CONCLUSIONES Y TESTEO DEL LIGHTCORN Y DISPOSITIVOS ASOCIADOS

Las pruebas se realizaron conectando el Interruptor Diana a una radio, a un ordenador y a un ventilador y empleando la luz de un láser comercial de 4,5 V adquirido en un bazar. Al contrario



que en la MARC, este dispositivo era el puro circuito y estaba todo medido y controlado por lo que el funcionamiento fue perfecto. El control del puntero lo hicimos fijándolo el láser a una estructura de diademas compuestas aunque el objetivo del Mercedes San Roma es buscar un diseño más atractivo adaptando la fijación de un Licornio tradicional a un puntero láser. El encendido del láser se hacía a través del un botón. Los niños/as con los que se probó el dispositivo consiguieron encender y apagar todos los dispositivos lo que abre para el centro las posibilidades de numerosos juegos y actividades nuevos para el alumnado que posea destreza para movimiento cervicales e incluso una posibilidad nueva de comunicación.

#### 4. PIPÍOMETRO

El dispositivo desarrollado a continuación se basa en un sistema de control de la humedad que puede emplearse para detectar el mojado de diferentes tejidos como pañales, compresas y demás productos de higiene. Sin embargo, el objetivo principal es emplearlo para los/las niños/as con movilidad reducida atendidos por el centro para la educación especial Mercedes San Roma. En este caso, una obligación principal de los cuidadores del centro consiste en determinar cuando los alumnos necesitan ser cambiados de pañal. La práctica usual de la plantilla consiste en la inspección de los pañales. Esta forma de gestión es laboriosa y cuando el número de alumnos es alto o los casos agudos el tiempo empleado se vuelve determinante. Además, se puede correr el riesgo de que, una vez inspeccionado, el paciente se orine, con lo que, a menos que se dé cuenta el cuidador, pase algún tiempo con el pañal mojado hasta la siguiente ronda rutinaria. Para solventarlo proponemos el diseño de un dispositivo que hemos convenido en llamar *Pipiómetro* por lo ilustrativo del término y su función.

El control de humedad está muy extendido dentro del mundo de la domótica. Ya sea para el control de pequeños cultivos, como anunciador de lluvia, para regular acuarios... Para nosotros, que queremos desarrollar dispositivos enfocados a la atención de menores con diversas discapacidades, el control de humedad abre la posibilidad de subsanar un problema que tienen cuidadores y padres a la hora de la atención del niño/a. Los/las niños/as con discapacidad motora severa llevan pañales que deben ser revisados cada cierto tiempo. Muchos no son capaces de comunicar que se hayan orinado o defecado encima, por lo que pueden estar cierto tiempo sin ser cambiados, con el riesgo de dermatitis, infecciones e irritaciones que eso conlleva.

Para solventar este problema procederemos a la creación de un detector de pipí o Pipiómetro con un cabezal blando que iría en el interior del pañal y un montaje electrónico basado en el circuito integrado 555.

Previamente se han descrito brevemente el funcionamiento de los diferentes tipos de multivibradores cuando se hablaba del montaje electrónico de los Interruptores Diana del Licornio Láser, haciendo hincapié en los biestables del tipo RS. Ahora, para el caso del circuito que sustentará el Pipiómetro precisamos ahondar en los astables, aquellos capaces de emitir una onda cuadrada a través de su fuente de alimentación. Esta onda cuadrada representará una oscilación de un par de LEDs con los que podremos caracterizar la resistencia del pañal.

El circuito 555 o temporizador IC 555 es en esencia un circuito empleado para generar pulsos y oscilaciones, además de actuar como un temporizador. Esta oscilación será aprovechada para producir la alternancia en la iluminación de un par de LEDs. Bien configurado el circuito, la velocidad con la que alternen permitirá identificar si el pañal se ha mojado o no.

#### 4.1 DESCRIPCIÓN DE CONEXIONES DEL CIRCUITO 555

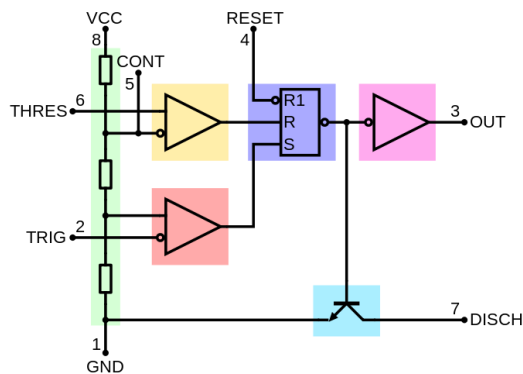


Fig 4.1. Esquema de un circuito 555.

- GND (1): La tierra.
- Disparo (2): Desde aquí se establece el inicio del tiempo de retardo en la configuración monoestable. Sucede si tiene menos de un tercio del voltaje de alimentación. Este pulso debe ser de corta duración, pues si se mantiene bajo por mucho tiempo la salida se quedará en alto hasta que la entrada de disparo pase a alto otra vez.

- Salida (3): La salida del temporizador, ya sea que esté conectado como monoestable, estable u otro. Para nivel alto, el voltaje será el voltaje de alimentación ( $V_{cc}$ ) menos 1.7 V. Aún así podemos imponer que esté en casi 0 voltios con la ayuda de la patilla de reinicio (4).
- Reinicio (4): Detecta un nivel por debajo de 0.7 Voltios, poniendo la patilla de salida a nivel bajo. Cuando no sea necesaria debe conectarse a la fuente para evitar que el temporizador se reinicie.
- Control de voltaje (5): Temporizador en modo controlador de voltaje. El voltaje puede variar desde  $V_{cc}$  (en la práctica como  $V_{cc} - 1.7$  V) hasta casi 0 V (aproximadamente 2 V menos). De esta forma pueden modificarse los tiempos.
- Umbral (6): Es una entrada utilizada para poner la salida a nivel bajo a través de un comparador.
- Descarga (7): Descarga el condensador externo utilizado por el temporizador.
- Voltaje de alimentación (VCC) (8): La patilla que se utiliza para la fuente. Va de 4.5 V hasta 16 V.

#### **4.2 MODO DE OPERACIÓN COMO MULTIVIBRADOR ASTABLE**

Nuestro pipiómetro usará ondas cuadradas cuya frecuencia dependerá de la resistencia que ofrezca el terminal que va en el interior del pañal. Para ello, pondremos el circuito 555 en el modo de multivibrador astable. La salida será continua y con una frecuencia específica. El resistor R1 está conectado a la tensión designada como VCC y al pin de descarga (pin 7); para nuestro pipiómetro sustituiremos el resistor R2, por el cabezal blando del pañal. Este se comportará como una resistencia muy alta cuando el contacto se haga con un tejido seco y como una resistencia muy baja cuando se encuentre con el tejido húmedo. La explicación es sencilla; el orín es una solución salina con la capacidad de conducir la electricidad, lo que, al penetrar en el cabezal hace disminuir drásticamente su resistencia. La colocación del sensor que sustituye a la resistencia R2 se encuentra entre el pin de descarga (7) y el pin de disparo (pin 2). El condensador se carga a través de R1 y R2, pero se descarga empleando el R2. La señal de salida tiene un nivel alto por un tiempo  $t_1$  y un nivel bajo por un tiempo  $t_2$ . Un multivibrador astable no tiene estado estable y se encuentra inmerso en una oscilación sin la necesidad de un circuito externo.. El ciclo de trabajo presenta los niveles alto y

bajo, la duración de los tiempos en cada uno de los estados está relacionada con los valores de R1, R2 (expresados en ohmios) y C (en faradios) según las expresiones que se muestran a continuación:

$$\begin{cases} t_{ALTO} = \ln(2) \cdot (R1 + R2) \cdot C \\ t_{BAJO} = \ln(2) \cdot R2 \cdot C \end{cases}$$

La frecuencia de oscilación:

$$f \approx \frac{1}{\ln(2) \cdot C \cdot (R1 + 2 \cdot R2)}$$

El periodo T:

$$T = \frac{1}{f}$$

Hay que recordar que el período es el tiempo que dura la señal hasta que ésta se vuelve a repetir, es la suma del tiempo alto y el tiempo bajo (Ta + Tb).

El ciclo de trabajo es :

$$D = \frac{Ta}{T}$$

Para realizar un ciclo de trabajo igual al 50% se necesita colocar el resistor R1 entre la fuente de alimentación y la patilla 7; desde la patilla 7 hacia el condensador se coloca un diodo con el cátodo apuntando hacia el condensador, después de esto se coloca un diodo con el ánodo del lado del condensador seguido del resistor R2 y este en paralelo con el primer diodo, además de esto los valores de los resistores R1 y R2 tienen que ser de la misma magnitud.

¿Cómo aplicamos esta tecnología a un detector de pipí? Como vemos, la frecuencia de oscilación en el modo de funcionamiento estable del circuito 555 depende de dos resistencias R1 y R2. Para nuestro dispositivo, en lugar de usar una resistencia en sí, lo que evaluamos es el cambio de resistividad de un pañal seco a un pañal húmedo a través de dos terminales conectadas a un cabezal blandito. De esta forma la conductividad de la propia orina en el interior del pañal nos reducirá la resistencia disminuyendo el tiempo de oscilación. Con la R1 adecuada para equilibrar, el Pipiómetro alternará entre una oscilación tan lenta que no sea apreciable para el caso del pañal seco, con lo que tendremos simplemente un LED encendido a la del pañal mojado que será una oscilación rápida que encienda un LED y apague el otro.

### **4.3. CONCLUSIONES TRAS EL ANÁLISIS DEL PIPÍOMETRO**

Tratándose de un circuito muy sencillo y muy empleado en domótica no había apenas margen para el error o el fallo en las pruebas. No hubo problemas en la detección de humedad en pañuelos, papeles y diferentes tipos de tejido impregnados en agua. Hicimos dos modelos diferentes para cabezal blando y ligero del Pipiómetro. Uno como un disco y otro como un anillo estrecho, ambos prácticamente imperceptibles debido al pequeño espesor de estos. Ambos respondieron a la perfección en su prueba con los niños del Mercedes San Roma.

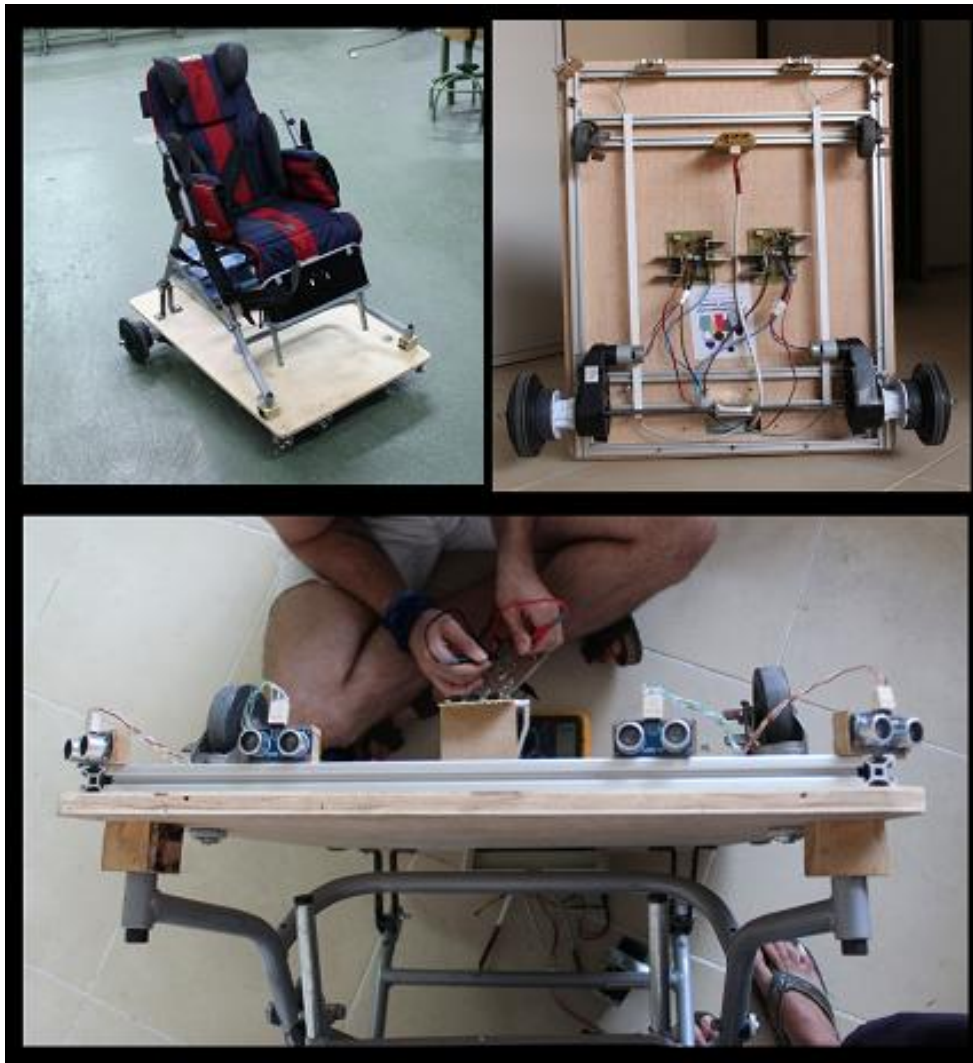
## 5. BIBLIOGRAFIA

- Ronald J. Tocci, Neal S. Widmer, Gregory L. Moss (2007). *Sistemas digitales: comienzos y aplicaciones*. Pearson Educación. ISBN 1205524427, 47852114512.
- Porcuna Lopez, Pedro (2016). *Robótica y Domótica Básica Con Arduino*. RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones. ISBN: 8499646093, 978-8499646091
- Camargo Casallas, Esperanza. Garzón González, Enrique. Camargo Casallas, Luz Helena. *LICORNIO ELECTRONICO Y SOFTWARE DE ENTRENAMIENTO PARA PERSONAS CON IMOC (Insuficiencia Motora De Origen Cerebral)*. Universidad Distrital. Bogotá, Colombia.
- Humphries T. James, Sheets P. Leslie. (1996) *Electrónica Industrial: Dispositivos, máquinas y sistemas de potencia industrial*. Editorial Paraninfo. ISBN: 84-283-2278-3
- CABERO, J. y otros (2000): *Medios y nuevas tecnologías para la integración escolar*. Revista de Educación, ISBN: 2- 253-265
- Maloney J. Timothy. (1996) *Modern Industrial Electronics. Third Edition*. Prentice Hall. ISBN 0-13-457516-4
- Malvino. *Principios de Electrónica. Tercera Edición (Segunda edición en español)*. MCGraw Hill. ISBN 9684517211
- Varios autores. *Transductores y medidores electrónicos. Serie: mundo electrónico*. Boixareu Editores. ISBN: 84-267-04272-7
- Maloney J. Timothy. *Electrónica Industrial: Dispositivos y sistemas*. Prentice Hall. ISBN: 968-800-059-7
- Cumellas, Monsserrat. Estrany, Carles. *Discapacidades Motoras Y Sensoriales En Primaria (Educación Física. Especial y Necesidades Educativas Especiales)*. Editorial INDE. ISBN: 9788497290753

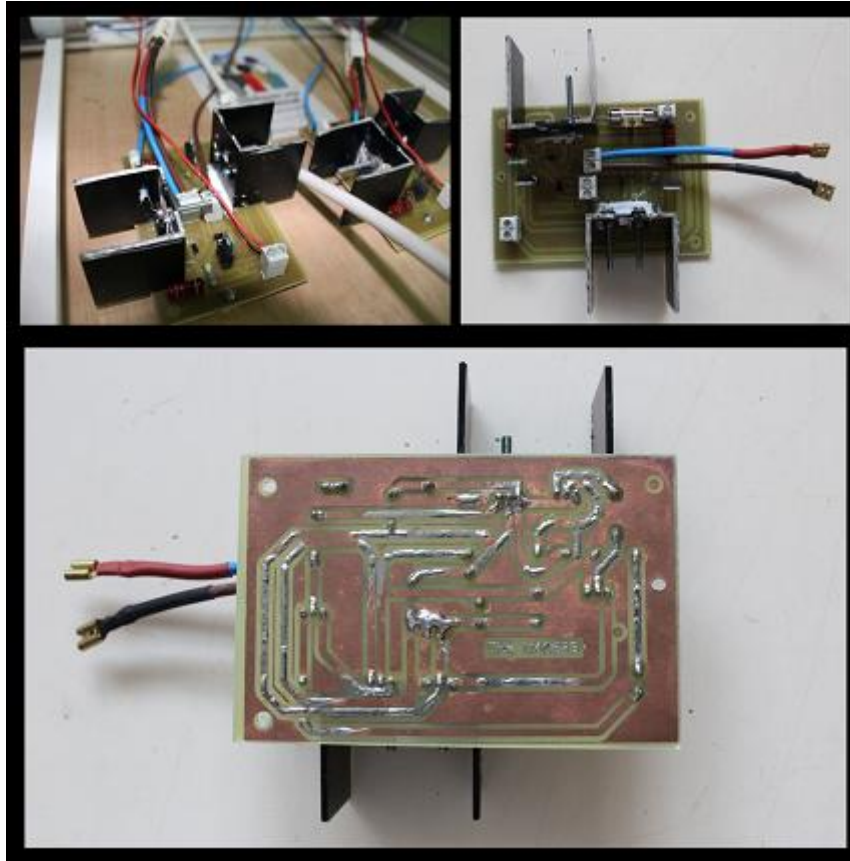
## ANEXO I

### FOTOGRAFÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

A continuación se presenta un pequeño reportaje fotográfico de cómo quedaron los componentes y el montaje tras su construcción. A la plataforma MARC se le ha acoplado la estructura de una silla preparada para la atención especial que hemos podido reutilizar tras quedar inservible por estropearse sus ruedas. La donación de esta estructura corresponde al centro MERCEDES SAN ROMA.

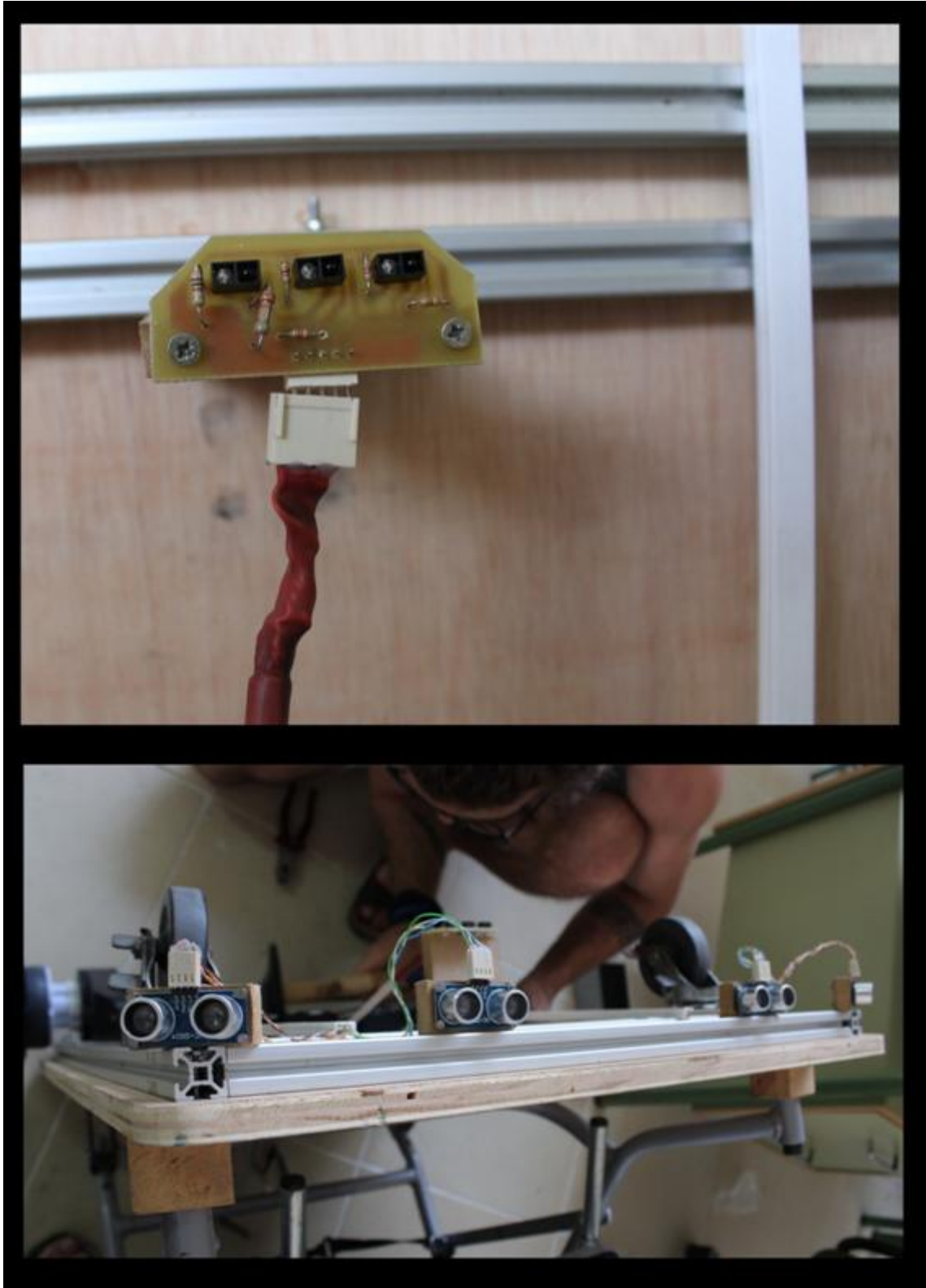


*Collage 1: Arriba a la izquierda la MARC con la silla montada. Arriba a la derecha vista de la MARC desde abajo. Abajo una toma del ensamblado de cables y testeo de puentes en hache.*



*Collage 2: Diferentes perspectivas de los puentes en hache. Arriba a la izquierda se encuentran montados ya sobre la plataforma. Arriba a la derecha y abajo sobre fondo blanco para que destaquen sus componentes.*





*Collage 3: Los diferentes sensores de la MARC. Arriba el seguidor de línea formado por tres sensores infrarrojos. Abajo los sensores de ultrasonidos para el control de proximidad.*



*Collage 4: Distintas herramientas empleadas en el mecanizado de la MARC. Arriba a la izquierda la cortador. A la derecha la perforadora vertical. Abajo a la izquierda la pulidora.*



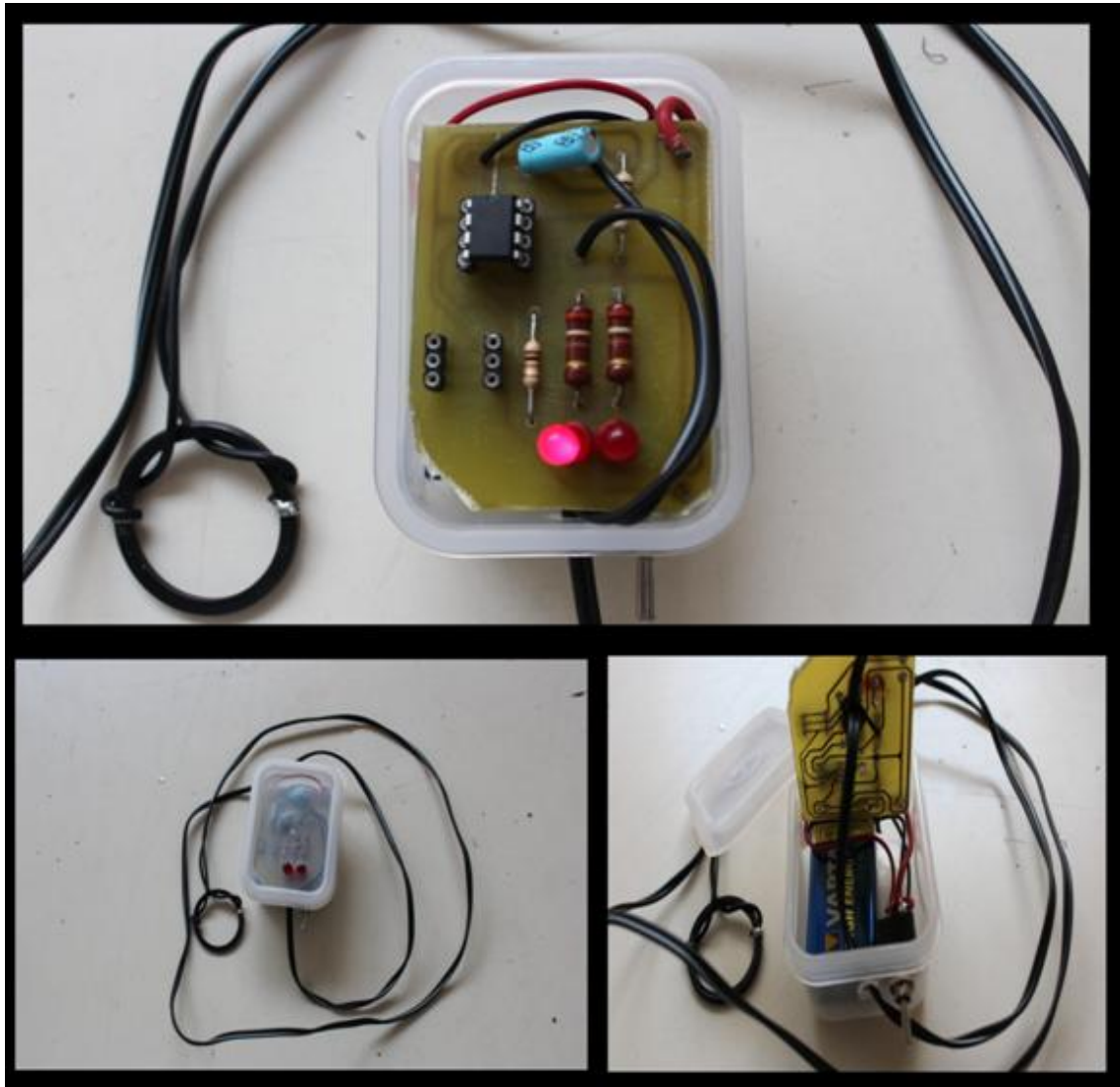
*Collage 5: Piezas obtenidas mediante el mecanizado. Arriba a la izquierda, la pletina que sujeta el eje de las ruedas e impide que se doble. Abajo a la izquierda, tanto el taco de madera como el tornillo que sujeta las ruedas locas delanteras pero sobretodo este último han sido procesados mecánicamente. A la derecha la pieza de sujeción de la silla a la plataforma.*

*Pasamos ahora al proyecto del Licornio Láser donde hemos fotografiado el Interruptor Diana.*



*Collage 6: Interior del Interruptor Diana del Licornio Láser. Se pueden observar las dos zonas fotosensibles asociadas a los LEDs Rojo y Verde.*

Para este proyecto se desarrollaron 4 prototipos de Pipiómetro para donarlos al MERCEDES SAN ROMA. En el siguiente collage se muestran los circuitos y el cabezal redondo y blando que iría en el pañal.



*Collage 7: Pipiómetro. En la fotografía de arriba vemos el circuito que compone el pipiómetro con el 555, las resistencias que acompañan a los LEDs y el cabezal blando y redondo construido con un aro negro de plástico blando. Abajo a la izquierda el dispositivo con la tapadera, dejando solo los LEDs al descubierto. Abajo a la derecha la pila que alimenta al sistema, fácilmente sustituible cuando se haya gastado.*

## ANEXO II

### CÓDIGO

El Arduino MEGA 2650 que controla la MARC ha sido programado empleando el siguiente código.

// A continuación viene el listado de todas las variables que necesitamos introducir en el programa antes de hacer cualquier cosa.

```
const int vccPin =29; // Sensores de proximidad
const int TriggerPin =23;
const int EchoPin = 25;
const int gndPin =27;
const int vccPin2 =31;
const int TriggerPin2=37;
const int EchoPin2 = 35;
const int gndPin2 =33;
const int vccPin3 =28;
const int TriggerPin3 =26;
const int EchoPin3 = 34;
const int gndPin3 =32;
const int vccPin4 =24;
const int TriggerPin4 =22;
const int EchoPin4 = 36;
const int gndPin4 =30;
const int motor1A=10; // Los pines que van a los puentes en hache.
const int motor1R=9;
const int motor2A=8;
const int motor2R=7;
int vs=44; // Fuente y tierra de los sensores infrarrojos.
int gns=46;
int inbyte; // La magia del Bluetooth.
int COM1=21;// Pines de los conmutadores.
```

```

int COM2=20;
int outputValue=190;// Valor del PWM.
int vpul=43; //Pines del pulsador.
int spul=45;

void protec(){ // Permite un tiempo de esperar entre la activación de un sentido de giro y otro con
el fin de que el motor se descargue a través de los diodos y no de los transistores.
    digitalWrite(motor1A, LOW);
    digitalWrite(motor1R, LOW);
    digitalWrite(motor2A, LOW);
    digitalWrite(motor2R, LOW);
    delay(100);
}
void forward(){ // Función para avanzar
protec();
    analogWrite(motor1A, outputValue);
    analogWrite(motor1R, 0);
    analogWrite(motor2A, outputValue);
    analogWrite(motor2R, 0);
    Serial.println("go forward!");

}
void back(){//Función para retroceder
    protec();
    analogWrite(motor1R, outputValue);
    analogWrite(motor1A, 0);
    analogWrite(motor2R, outputValue);
    analogWrite(motor2A, 0);
    Serial.println("go back Africa!");

}
void Stop(){//Función para parar

```

```

protec();
    analogWrite(motor1A, 0);
    analogWrite(motor1R, 0);
    analogWrite(motor2A, 0);
    analogWrite(motor2R, 0);

    Serial.println("STOP!");

}
void left() {/Girar a la izquierda
    protec();
    analogWrite(motor1A, outputValue);
    analogWrite(motor1R, 0);
    analogWrite(motor2A, 0);
    analogWrite(motor2R, outputValue);

    Serial.println("go left!");
}
void right(){//Girar a la derecha
    protec();
    analogWrite(motor1R, outputValue);
    analogWrite(motor1A, 0);
    analogWrite(motor2R, 0);
    analogWrite(motor2A, outputValue);

    Serial.println("go righth");
}

```

```

void setup() {

    Serial.begin(9600);
    pinMode(vpul,OUTPUT);
    pinMode(spul,INPUT);
    pinMode(COM1,INPUT);
    pinMode(COM2,INPUT);
    pinMode(vccPin, OUTPUT); // A continuación cada uno de los pines de los sensores de distancia
    declarándose como entradas y salidas. Este es el primero.
    pinMode(gndPin, OUTPUT);
    pinMode(EchoPin, INPUT);
    pinMode(TriggerPin, OUTPUT);

    pinMode(vccPin2, OUTPUT);// Este es el segundo.
    pinMode(gndPin2, OUTPUT);
    pinMode(EchoPin2, INPUT);
    pinMode(TriggerPin2, OUTPUT);

    pinMode(vccPin3, OUTPUT);// Este es el tercero.
    pinMode(gndPin3, OUTPUT);
    pinMode(EchoPin3, INPUT);
    pinMode(TriggerPin3, OUTPUT);

    pinMode(vccPin4, OUTPUT);//Este es el cuarto y último.
    pinMode(gndPin4, OUTPUT);
    pinMode(EchoPin4, INPUT);
    pinMode(TriggerPin4, OUTPUT);

    pinMode(motor1A,OUTPUT); //He aquí los motores.
    pinMode(motor1R,OUTPUT);
    pinMode(motor2A,OUTPUT);
    pinMode(motor2R,OUTPUT);

```



```

pinMode(48,INPUT);// Los sensores
pinMode(40,INPUT);
pinMode(42,INPUT);
    pinMode(vs,OUTPUT);
    pinMode(gns,OUTPUT);

}

void loop() {
int C1=digitalRead(COM1);
int C2=digitalRead(COM2);
digitalWrite(vpul,HIGH);
int PUL=digitalRead(spul);
int ltm=digitalRead(48);
int ltl=digitalRead(40);
int ltd=digitalRead(42);
int cm = ping(TriggerPin, EchoPin);
int cm2 = ping2(TriggerPin2, EchoPin2);
int cm3 = ping3(TriggerPin3, EchoPin3);
int cm4 = ping4(TriggerPin4, EchoPin4);
Serial.print("Distancia 1: ");
Serial.println(cm);
    Serial.print("Distancia 2: ");
    Serial.println(cm2);
        Serial.print("Distancia 3: ");
        Serial.println(cm3);
            Serial.print("Distancia 4: ");
            Serial.println(cm4);
                Serial.println(PUL);

digitalWrite(vccPin,HIGH);
digitalWrite(gndPin,LOW);
digitalWrite(vccPin2,HIGH);

```

```

digitalWrite(gndPin2,LOW);
digitalWrite(vccPin3,HIGH);
digitalWrite(gndPin3,LOW);
digitalWrite(vccPin4,HIGH);
digitalWrite(gndPin4,LOW);
digitalWrite(vs,HIGH);
digitalWrite(gns,LOW);
delay(100);
if (PUL==1) {
    if ((C1==0)&&(C2==0)){
if(Serial.available()>=0)
    {
        inbyte= Serial.read();
        switch (inbyte) {
            case 'a':{

forward();
        break;}

            case 'e':{

back();
        break;}

            case 'd':{

right();
        break;}

            case 'b':{

left();
        break;}

```

```

    case 'c':{

Stop();
    break;}

}
}
}

    else {
if ((cm>55) && (cm2>55) && (cm3>55) && (cm4>55)&& (cm!=0) && (cm2!=0) && (cm3!=0)
&& (cm4!=0)) {
    if ((C1==1)&&(C2==1)){
        forward();
    }

    if ((C1==1)&&(C2==0)){
        if ((ltm==0)&&(ltd==1)&&(ltl==1)){

forward();
        }
else if ((ltm==1)&&(ltd==0)&&(ltl==1)){

left();
        }
else if ((ltm==1)&&(ltd==1)&&(ltl==0)){

right();
        }
else if ((ltm==1)&&(ltd==1)&&(ltl==1)){

Stop();

```

```

}
}
if ((C1==0)&&(C2==1)){
    if ((ltm==1)&&(ltd==1)&&(ltl==1)){

forward();
}
else if ((ltm==1)&&(ltd==1)&&(ltl==0)){

left();
}
else if ((ltm==1)&&(ltd==0)&&(ltl==1)){

right();
}
else {

back();
delay(1000);
left();
delay(3500);
}
}

else if ((cm2>55)&&(cm3>55)&&(cm4>55)){
protec();
    digitalWrite(motor1A, HIGH);
    digitalWrite(motor1R, LOW);
    digitalWrite(motor2A, LOW);
    digitalWrite(motor2R, HIGH);
    delay(2000);
    digitalWrite(motor1A, LOW);

```

```

digitalWrite(motor1R, LOW);
digitalWrite(motor2A, LOW);
digitalWrite(motor2R, LOW);
    digitalWrite(motor1A, LOW);
}
else if ((cm>55)&&(cm2>55)&&(cm4>55)){
    protec();
    digitalWrite(motor1A, LOW);
digitalWrite(motor1R, HIGH);
digitalWrite(motor2A, HIGH);
digitalWrite(motor2R, LOW);
delay(2000);
digitalWrite(motor1A, LOW);
digitalWrite(motor1R, LOW);
digitalWrite(motor2A, LOW);
digitalWrite(motor2R, LOW);
delay(2000);

}
else {
protec();
    digitalWrite(motor1A, LOW);
digitalWrite(motor1R, HIGH);
digitalWrite(motor2A, LOW);
digitalWrite(motor2R, HIGH);
delay(2000);
    protec();
digitalWrite(motor1A, LOW);
digitalWrite(motor1R, HIGH);
digitalWrite(motor2A, LOW);
digitalWrite(motor2R, HIGH);
delay(2000);
}

```

```

    digitalWrite(motor1R, LOW);
    digitalWrite(motor2A, LOW);
    digitalWrite(motor2R, LOW);
    digitalWrite(motor1A, LOW);
  }
}
}

```

```

int ping(int TriggerPin, int EchoPin) {

```

```

    long duration, distanceCm;

```

```

    digitalWrite(TriggerPin, LOW); //para generar un pulso limpio ponemos a LOW 4us

```

```

    delayMicroseconds(4);

```

```

    digitalWrite(TriggerPin, HIGH); //generamos Trigger (disparo) de 10us

```

```

    delayMicroseconds(10);

```

```

    digitalWrite(TriggerPin, LOW);

```

```

    duration = pulseIn(EchoPin, HIGH); //medimos el tiempo entre pulsos, en microsegundos

```

```

    distanceCm = duration * 10 / 292 / 2; //convertimos a distancia, en cm

```

```

    return distanceCm;

```

```

}

```

```

int ping2(int TriggerPin2, int EchoPin2) {

```

```

    long duration2, distanceCm2;

```

```

    digitalWrite(TriggerPin2, LOW); //para generar un pulso limpio ponemos a LOW 4us

```

```

    delayMicroseconds(4);

```

```

    digitalWrite(TriggerPin2, HIGH); //generamos Trigger (disparo) de 10us

```

```

    delayMicroseconds(10);

```

```

    digitalWrite(TriggerPin2, LOW);

```

```

    duration2 = pulseIn(EchoPin2, HIGH); //medimos el tiempo entre pulsos, en microsegundos

```

```

distanceCm2 = duration2 * 10 / 292 / 2; //convertimos a distancia, en cm
return distanceCm2;
}
int ping3(int TriggerPin3, int EchoPin3) {
    long duration3, distanceCm3;

    digitalWrite(TriggerPin3, LOW); //para generar un pulso limpio ponemos a LOW 4us
    delayMicroseconds(4);
    digitalWrite(TriggerPin3, HIGH); //generamos Trigger (disparo) de 10us
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TriggerPin3, LOW);

    duration3 = pulseIn(EchoPin3, HIGH); //medimos el tiempo entre pulsos, en microsegundos

    distanceCm3 = duration3 * 10 / 292 / 2; //convertimos a distancia, en cm
    return distanceCm3;
}
int ping4(int TriggerPin4, int EchoPin4) {
    long duration4, distanceCm4;

    digitalWrite(TriggerPin4, LOW); //para generar un pulso limpio ponemos a LOW 4us
    delayMicroseconds(4);
    digitalWrite(TriggerPin4, HIGH); //generamos Trigger (disparo) de 10us
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TriggerPin4, LOW);

    duration4 = pulseIn(EchoPin4, HIGH); //medimos el tiempo entre pulsos, en microsegundos

    distanceCm4 = duration4 * 10 / 292 / 2; //convertimos a distancia, en cm
    return distanceCm4;
}

```