



DESARROLLO DE UNA AYUDA TÉCNICA PARA ALUMNOS DEL COLEGIO SAN RAFAEL (2)

**Brazo extensible para utilizar móviles o
PDAs en silla de ruedas (II): Implementación**

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

PROYECTO FIN DE CARRERA

**RAQUEL RODRÍGUEZ GARCÍA
11/06/2011**





Título:
Autor:
Director:

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día __ de _____
de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de
Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE





Agradecimientos

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi familia, ya que de no ser por ellos hoy no estaría escribiendo estas líneas. Vosotros habéis permitido que hoy sea quien soy. Habéis sabido guiarme por este camino, permitiendo en todo momento que fuese yo quien lo caminara. Gracias.

Gracias en especial a mi padre, Nicolás, que además de escucharme ha tenido un papel muy importante en el desarrollo de este proyecto, tanto por sus consejos como por sus contribuciones en el trabajo realizado.

Gracias a mi madre, M^a Josefa, que ha sabido escucharme, calmarme y darme los mejores consejos en momentos duros.

Gracias también a mi hermano Nicolás, que ha sido un apoyo enorme cuando lo he pasado mal y que también ha sabido aconsejarme con gran sabiduría.

Gracias a mi novio, Salomón, que ha sido mi gran apoyo, escuchándome durante interminables horas cuando lo necesitaba, dándome consejos y esforzándose al máximo por hacerme sonreír.

También quiero dar las gracias a mi compañero Lorenzo, ya que este ha sido un trabajo conjunto y el mérito es de ambos.

Y por supuesto, gracias Ricardo, que como tutor has sido un gran ejemplo y siempre has tenido tiempo y paciencia para nosotros, para escucharnos y ayudarnos tanto en consultas técnicas como en otras que no lo eran no tanto. Nos has orientado en todo este tiempo, ayudándonos a obtener los mejores resultados. Y nos has permitido realizar un trabajo que no sólo nos ha enriquecido como estudiantes, sino también como personas.

No puedo olvidar a mis compañeros Marisa y Edwin, que han trabajado en sus respectivos proyectos paralelamente al nuestro, y que han aportado sus conocimientos y su ayuda siempre que les ha sido posible. Y por supuesto quiero dar las gracias a todos los compañeros que me han acompañado a lo largo de la carrera, y que han sido ante todo amigos: Marisa de nuevo, Rocío, Joana, Manuel, Marcos, Guille, Miguel, Adrián... y tantos otros que hoy no mencionaré porque la lista sería interminable, pero que han sido también grandes compañeros y amigos y sin los cuales tampoco estaría hoy dando por terminado mi periodo universitario.

Y a mis compañeros de trabajo, a los que he visto a diario desde que empecé este proyecto, y que siempre se han "rascado la cabeza" intentando darme soluciones a mis problemas. Gracias Carlos P., Carlos U., Rubén, Laura, Miriam y Jesús.

Gracias a todos.







Resumen del proyecto

El presente proyecto es el cuarto de un conjunto de proyectos de ayuda a discapacitados, realizados específicamente para alumnos del Colegio San Rafael y en colaboración con los cuidadores del centro.

Este proyecto pretende implementar un prototipo, diseñado previamente en otro proyecto de apoyo por Lorenzo de la Cruz, que permitiría acoplar un dispositivo telefónico o PDA a una silla de ruedas eléctrica, situándolo en un lugar en el que el usuario pueda hacer uso del mismo fácilmente y sin entorpecer el resto de actividades cotidianas. Se ha pretendido que sea una ayuda, que en ningún momento entorpezca al usuario.

El objetivo del proyecto del que se tratará es que el propietario tenga a su disposición un dispositivo que le proporcione el teléfono móvil pulsando un simple botón, y que pueda retirar completamente el mismo de igual manera en caso de no necesitarlo, quedando recogido en la parte trasera de la silla.

Para lograrlo se han ido haciendo una serie de pruebas sobre el diseño, con las que se ha ido comprobando que esto fuese así realmente, y ajustando el prototipo al entorno real. Ha sido necesario realizar modificaciones tanto en la mecánica del aparato como en la electrónica hardware y software para lograr el correcto funcionamiento del conjunto, y finalmente se ha conseguido instalarlo satisfactoriamente. A su vez se ha incluido una serie de mejoras.

El prototipo consta de una parte mecánica, que sirve de estructura y protección al resto de elementos, con las sujeciones que lo fijan a la silla y los motores y engranajes que le dotan de movimiento; y una parte electrónica, que se podría dividir en el hardware (donde se encuentra un microprocesador, un circuito de potencia que hace funcionar a los motores, y toda la electrónica que hace funcionar a estos dos) y el software (que controla la ejecución de movimientos y analiza el entorno).

Todo el conjunto se integra perfectamente en la silla de ruedas y aprovecha además su fuente de energía, las baterías, sin afectar a la vida diaria del usuario en otro aspecto que no sea la mejora.

Palabras clave: Brazo electromecánico, motores DC, sensorización, ayuda técnica, discapacidad.



Abstract

This project is the fourth in a series of projects to help the disabled, made specifically for students of San Rafael school and in collaboration with carers in the center.

This project aims to implement a prototype, previously designed in another project by Lorenzo de la Cruz, that allow to connect a mobile phone or PDA to an electric wheelchair, placing it where the user can easily use the same and without hindering the other daily activities. It has been pretended to be a help, which at no time obstruct the user.

The aim of the project that we will discuss is to get that the owner has available a device to provide mobile phone by pressing a button, and that he can separate it completely if he don't need it, placing it in the rear part of the chair.

To achieve this have been making a series of tests on the design, with which has gradually become clear that this was so real, and adjust the prototype to the real environment. It was necessary to modify the apparatus mechanical and the electronic hardware too, and software to achieve the proper functioning of the whole. And it has finally managed to install the prototype successfully. At the same time we have included a number of improvements.

The prototype consists of a mechanical part, which serves as protection structure to the other elements, with fasteners that attach it to the chair and the motors and gears that provide it the movement, and an electronic part, which could be divided into hardware (where we found a microprocessor, a power circuit that powers the engines and all the electronics that allow to work these two) and software (that controls the execution of movements and analyzes the environment).

The entire set fits perfectly into the wheelchair and also takes advantage of its power source, the batteries, without affecting the user's daily life in another aspect other than her improvement.

Keywords: electromechanical arm, DC motors, sensorization, technical aid, disabilities

Índice General

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	14
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1.1	ANTECEDENTES: EL HOSPITAL SAN RAFAEL.....	14
1.1.2	EL PROBLEMA DE CLARA: NECESIDADES ESPECÍFICAS	16
1.1.3	PUNTO DE PARTIDA: EL DISEÑO	17
1.1.4	REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE: ¿QUÉ EXISTE EN EL MERCADO?.....	18
1.2	OBJETIVOS	26
2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA	29
2.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	29
2.2	SISTEMA MECÁNICO.....	30
2.3	DRIVER.....	31
2.4	CUADRO DE CONTROL.....	31
2.5	SENSORIZACIÓN.....	32
2.6	ALIMENTACIÓN.....	32
3	IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO	33
3.1	SOPORTES.....	33
3.2	ESTRUCTURA (CHASIS).....	35
3.3	SUJECCIÓN PARA EL TERMINAL MÓVIL	37
3.4	RESULTADO DEFINITIVO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA:	39
3.5	MOTORES Y ENGRANAJES	40
4	CONTROL DEL ENTORNO. SENSORIZACIÓN	48
4.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES	48
4.2	IMPLEMENTACIÓN FÍSICA	48
4.3	IMPLEMENTACIÓN HARDWARE	49
4.4	ACOPLAMIENTO A LA ESTRUCTURA.....	49
5	CONTROLES	51
5.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES	51
5.2	IMPLEMENTACIÓN FÍSICA	52
5.3	IMPLEMENTACIÓN HARDWARE	52
6	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO	54
6.1	IMPLEMENTACIÓN SOFTWARE.....	54
6.1.1	MICROCONTROLADOR	54
6.1.2	PLACA DE DESARROLLO.....	55
6.2	ALIMENTACIÓN DEL HARDWARE.....	68
6.2.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	68
6.2.2	IMPLEMENTACIÓN DEL CONEXIONADO DE ALIMENTACIÓN.....	68
6.2.2.1	PROTECCIONES:	70
6.2.2.2	REGULACIÓN DE TENSIÓN.....	71
6.3	IMPLEMENTACIÓN SOFTWARE.....	72
7	RESULTADOS	81
8	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	86

Índice de figuras

Figura 1-1: Hospital San Rafael.....	14
Figura 1-2: Colegio de Educación Especial Hospital San Rafael.....	15
Figura 1-3: Alumnos del CEE Hospital San Rafael	15
Figura 1-4: Silla de ruedas robótica. Javier Mínguez	19
Figura 1-5: DORA Door Opening Robot Arm	20
Figura 1-6: Robot incorporado en silla de ruedas para manipulación	21
Figura 1-7: Prototipo de silla HLPR	22
Figura 1-8: Robot de ayuda para niños.....	24
Figura 1-9: Brazo RAPUDA.....	25
Figura 1-10: Silla de ruedas con brazo robótico controlado por ondas cerebrales	26
Figura 2-1: Diagrama de bloques del sistema completo.....	29
Figura 3-1: Diseño de anclajes del dispositivo a la silla Tipo 2.....	33
Figura 3-2: Detalle del diseño del anclaje del dispositivo a la silla de ruedas	33
Figura 3-3: Anclaje del prototipo a la silla	34
Figura 3-4: Anclaje definitivo del prototipo a la silla.....	34
Figura 3-5: Situación del hueco disponible	35
Figura 3-6: Diseño de situación de las piezas y motores	36
Figura 3-7: Situación de las piezas.....	36
Figura 3-8: Diseño de la sujeción para el móvil.....	37
Figura 3-9: Diseño de la sujeción para el móvil acoplada al dispositivo.....	38
Figura 3-10: Sujeción para el móvil definitiva (parte delantera)	38
Figura 3-11: Sujeción para el móvil definitiva (parte trasera).....	39
Figura 3-12: Posición de reposo del brazo.....	39
Figura 3-13: Posición intermedia del brazo.....	40
Figura 3-14: Posición extendida del brazo.....	40
Figura 3-15: Mecanismo de cremallera.....	41
Figura 3-16: Esquemático de funcionamiento del motor 1.....	41
Figura 3-17: Imagen del motor 1, acoplado en la pieza B	42
Figura 3-19: Esquemático de posicionamiento de engranajes del motor 2	43
Figura 3-20: Motor 2, fijado a la pieza C.....	44
Figura 3-21: Interior de la pieza B	45
Figura 3-22: Detalle de la unión del motor 1 con el eje	46
Figura 3-23: Detalle del mecanismo del motor 2.....	47
Figura 4-1: Sensor de posición tipo fin de carrera.....	48
Figura 4-2: Posición prevista en el diseño para los sensores SA1 y SA2	49
Figura 4-3: Posición prevista en el diseño para los sensores SA3 y SA4	49
Figura 5-1: Dibujo de la silla de ruedas con posición del mando de control. Detalle: mando de dirección ya disponible en la silla de Clara	51
Figura 5-2: Cajeadado del mando de control.....	52
Figura 5-3: Resultado final del mando de control.....	53
Figura 6-1: Microcontrolador 5081F330.....	54
Figura 6-2: Circuito del diseño inicial.....	56
Figura 6-3: Circuito definitivo.....	58
Figura 6-4: Conector de cable plano.....	59
Figura 6-5: Diseño de la placa de control de sensores de posición	60
Figura 6-6: Placa de control de sensores de posición	60
Figura 6-7: Entrada tipo escalón unitario	61
Figura 6-8: Circuito antirrobo Avance	62
Figura 6-9: Circuito regulador de tensión.....	63
Figura 6-10: Regulador LM917 con disipador de calor.....	63
Figura 6-11: Encapsulado del MPC17531AEV	64
Figura 6-12: Diagrama de bloques interno.....	64
Figura 6-13: Esquema del sistema en el que se integra el MPC7531AEV.....	65
Figura 6-14: Circuito del controlador de motores MPC17531AEV	65
Figura 6-15: Circuito del microprocesador C8051F330	66



Figura 6-16: Diseño de la placa hardware definitiva.....	67
Figura 6-17: Placa hardware definitiva	67
Figura 6-18: Fotografía de las pruebas de hardware y software con la silla de ruedas	69
Figura 6-19: Conectores de los cables a la silla de ruedas	69
Figura 6-20: Conector de cables con fijación por tornillo.....	70
Figura 6-21: Enchufe en los cables de alimentación	70
Figura 6-22: Fusibles y portafusible usados.....	71
Figura 6-23: Diagrama de estados del software.....	72
Figura 6-24: Diagrama de bloques de la función Main del diseño inicial.....	73
Figura 6-25: Diagrama de bloques de la función PWM del diseño inicial.....	75
Figura 6-26: Diagrama de estados de la función de control de movimiento (avance)	77
Figura 6-27: Diagrama de estados de la función de control del movimiento (retroceso)	78
Figura 6-28: Diagrama de estados de la función de interrupción de avance.....	79
Figura 7-1: Posición extendida del brazo sobre la silla de Clara.....	81
Figura 7-2: Fotogramas movimiento avance 1	82
Figura 7-3: Fotogramas movimiento avance 2.....	83
Figura 7-4: Fotogramas movimiento retroceso 1.....	84
Figura 7-5: Fotogramas movimiento retroceso 2.....	85

Índice de tablas

Tabla 3-1: Especificaciones del fabricante del motor 1 seleccionado	42
Tabla 4-1: Conexión de las señales de los sensores al microprocesador.....	50
Tabla 6-1: Descripción de los conectores del circuito	59
Tabla 6-2: Descripción de los fusibles del circuito.....	71



1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 ANTECEDENTES: EL HOSPITAL SAN RAFAEL

El proyecto que se va a tratar nace con el objetivo de crear un dispositivo de ayuda para uno de los alumnos del Colegio de Educación Especial Hospital San Rafael, situado en la calle Serrano 199, Madrid.

El Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas de la Universidad Carlos III de Madrid contactó con el colegio con el objetivo de colaborar en la realización de proyectos fin de carrera de los alumnos de la Escuela Politécnica Superior, cuyos resultados pudieran usarse directamente en el funcionamiento diario del colegio, y personalmente por los alumnos del mismo.

Por este motivo, se hará un repaso a la historia de este Hospital.

En el año 1552, cuando un miembro de la orden de San Juan de Dios, el Hermano Antón Martín fundó el Hospital de Nuestra Señora del Amor de Dios en la calle Atocha. En 1892, otro miembro de la misma orden, San Benito Menni, fundó el hospital actual, en Pinto (Madrid). Pasó después por la calle Alcalá, y se trasladó más tarde a los altos del Hipódromo, en la carretera de Chamartín. Pero finalmente, en el año 1969, se trasladó a la calle Serrano, inaugurándose el edificio actual.[1]



Figura 1-1: Hospital San Rafael

En los terrenos del Hospital se encuentra también el Colegio de Educación Especial Hospital San Rafael.

El Colegio de Educación Especial Hospital San Rafael, es un colegio concertado que atiende alumnos con serias dificultades motoras y cognitivas. En él se da un tratamiento integral que abarca aspectos pedagógicos, motrices, de comunicación, salud, alimentación, aseo e higiene.

El centro trata alumnos de diferentes edades: Educación Infantil (3-6 años), Educación Básica Obligatoria EBO (alumnos entre 6 y 16 años) y Programa de Transición a la Vida Adulta PTVA (alumnos en edades comprendidas entre 16 y 21 años). Actualmente cuenta con 25 alumnos distribuidos en estos grupos de edades.



Figura 1-2: Colegio de Educación Especial Hospital San Rafael

La mayoría de los alumnos que ha tratado el colegio han sido, tradicionalmente niños que padecían parálisis cerebral, pero en la actualidad trabajan con niños afectados tanto de “Enfermedades Raras” como de síndromes degenerativos.



Figura 1-3: Alumnos del CEE Hospital San Rafael

A pesar de sus diferentes grados de discapacidad motriz, cada uno de los niños demuestra una gran valentía para sobrellevar el día a día. En esta tarea también intervienen sus tutores en el hospital, quienes buscan la manera de facilitarles las tareas diarias como el comer, cepillarse los dientes o simplemente el desplazarse por uno mismo de un sitio a otro.[2][2]

Y eso es lo que se pretendía lograr también con este proyecto. Mediante la instalación de un dispositivo que permita alcanzar un teléfono móvil, libro u otro objeto sin depender de otra persona, facilitaría mucho la vida del usuario.

La usuaria concreta para la que se ha adaptado el diseño se encontraba, al comienzo, en el Programa de Transición a la Vida Adulta. En este periodo de aprendizaje del centro se



trabaja con los alumnos en la búsqueda de identidad personal y en la autonomía tanto en el hogar como en la comunidad.[3]

Y en cierto modo, esto también se ha intentado lograr con el presente proyecto. Se pretendía dotar a la usuaria de una mayor autonomía que al llegar a esa Vida Adulta le diera seguridad en su día a día y facilitase un poquito su vida.

1.1.2 EL PROBLEMA DE CLARA: NECESIDADES ESPECÍFICAS

Este proyecto pretendía mejorar el día a día de una persona concreta, Clara. Se ha tratado de adaptar el diseño hecho previamente por Lorenzo de la Cruz a las necesidades concretas de esta persona, aunque se trate de un dispositivo universal, adaptable con pequeños cambios a cualquier otro usuario con necesidades similares.

Clara sufre una parálisis cerebral, que es una enfermedad con una serie de síndromes o estados patológicos (heredosifilis, asfixias neumatorum, prematuridad, meningocefalitis toxiinfecciosas, etc.) y lesiones anatómicas distintas y variadas. Debido a la enfermedad, aparecen síndromes muy diferentes que únicamente tienen como rasgo común su aparición congénita o durante los primeros meses de vida extrauterina, su carácter crónico o la escasa tendencia a la mejoría progresiva.[4]

Se dan una serie de modificaciones anatómicas en el cerebro, que acaban por provocar parálisis espásticas en ambos brazos o piernas, así como rigidez extrapiramidal o motilidad o coreatetósica, etc.

El nombre de “parálisis cerebral” es un nombre, por tanto, que reciben distintas enfermedades, con distintos síndromes y manifestaciones diferentes. Por este motivo, para cada persona afectada con parálisis cerebral, aunque padezca una misma enfermedad, sus síntomas varían y el grado de afección a diferentes aspectos también.

En este sentido, aunque el prototipo implementado en este proyecto pretende ser “un diseño para todos”, es posible que no resulte útil para todos los afectados por esta enfermedad, aunque sí pueda serlo para personas con unas necesidades similares a las de Clara, y que serían fundamentalmente dos: dar acceso a un teléfono móvil y mejorar la comunicación con el entorno a través del mismo. Éste segundo motivo se basa en la dificultad que tiene Clara para alzar la voz. Ella es capaz de hablar, pero en un entorno ruidoso, su voz podría no ser lo suficientemente alta para ser entendida.

Esto pretende solucionarse como complemento al proyecto. El objetivo principal es el de dar libre acceso a un terminal móvil, pero debido a la gran cantidad de aplicaciones que hoy ponen a nuestra disposición los dispositivos de telefonía móvil, sería posible que Clara pudiese acceder a un sintetizador de voz. Al facilitar la escritura de Clara en este aparato (hasta el momento le resulta muy complicado pulsar las diferentes teclas de un teléfono, y en especial, debido a que no puede sostenerlo en un lugar firme sin necesidad de ayuda), el sintetizador podría reproducir por ella los mensajes que de otra forma no pudiese comunicar.

El problema que causa esta dificultad en el habla a Clara es lo que se conoce como disartria. La disartria es un trastorno del habla, atribuido a una lesión del sistema nervioso central y periférico. No es un trastorno del lenguaje, sino del habla; ella manifiesta dificultades asociadas a la articulación de fonemas. Entre sus síntomas pueden destacarse:



- Emisiones más automáticas
- Contexto conversacional
- Voz forzada, disfónica
- Respiración irregular y poco coordinada
- Articulación defectuosa
- Ritmo lento
- Tono y volumen del habla bajos

Con todo esto, surgía la necesidad de poder ser entendida y escuchada en ambientes ruidosos o con personas que no estuvieran acostumbradas a oírla, porque con los síntomas descritos anteriormente, en ocasiones, resultaba complicado.

En resumen, las necesidades de Clara que motivaban la aplicación de este proyecto eran la utilización de su dispositivo de telefonía móvil con independencia de otra persona y como consecuencia, la mejora en la capacidad de comunicarse con su entorno.

1.1.3 PUNTO DE PARTIDA: EL DISEÑO

El proyecto que se describe en este documento nace como consecuencia de uno anterior, denominado “Brazo extensible para utilizar móviles o PDA’s en silla de ruedas (I): Diseño”, y escrito por Lorenzo de la Cruz Fajardo [5]. Éste describía el diseño de un prototipo de ayuda para discapacitados, mientras que el presente, trata de la implementación y adaptación del mismo a la silla de ruedas real de una persona concreta.

En este proyecto de diseño pretendía crear un sistema que fuese capaz de acoplarse a una silla de ruedas eléctrica. Este sistema situaría el teléfono móvil a una distancia cómoda y correcta para el usuario de la silla. Se tuvieron en cuenta las medidas de la silla para que no se ocupase más espacio del que ocupaba la misma y que se pudiese retirar de una manera cómoda, sin necesidad de utilizar un destornillador ni ningún tipo de llave.

Para conseguir el desplazamiento del móvil se diseñó un chasis en aluminio en el que se acoplarían dos motores. Uno transmitiría el movimiento para conseguir llevar el móvil desde la parte trasera de la silla a la delantera. El otro motor, con los engranajes diseñados y necesarios, transmitiría el movimiento al móvil haciendo que se moviese de forma lineal y en paralelo con el reposabrazos.

El control de estos motores se haría mediante la configuración y programación de un micro controlador. El micro controlador recibiría las instrucciones que el usuario quiera ejecutar desde un cuadro de control. Y desde este cuadro de control el usuario podría controlar si quería desplegar el dispositivo, recogerlo o detener la maniobra. El micro controlador enviaría la señal por el pin correspondiente al controlador de los motores.

El controlador de los motores del diseño era un puente H, que proporcionaba la potencia necesaria a los motores.

Para alimentar los motores y los controladores, se tomaría la alimentación de la batería de la silla (las baterías de la silla a la que se adaptaría el prototipo proporcionan 40Ah y 12 V



de tensión). Se ha tomaría la alimentación directamente de los terminales de una de las baterías que tiene la silla.

El microcontrolador utilizado se alimentaba a 3,3 V, mientras que el puente H se alimentaba a 3,3 V y a 10V. Para poder conseguir estas dos tensiones se diseñaron dos reguladores de tensión variable, que se implementaban en la entrada de la placa, para después alimentar a los componentes con la tensión necesaria.

1.1.4 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE: ¿QUÉ EXISTE EN EL MERCADO?

El presente proyecto tiene un aspecto de robótica importante, al tratar de incorporar un dispositivo automático a una silla de ruedas.

La robótica tradicional comenzó a desarrollarse, principalmente, para aplicaciones industriales, automatizando procesos y mejorando la seguridad, los tiempos y los costes de producción entre otros. Sin embargo, se ha terminado utilizando en numerosas con el fin de ayudar a personas con problemas de discapacidad o movilidad reducida, al igual que en el proyecto que se ha desarrollado.

Estos robots iniciales a menudo con forma de brazo, constituyen y sirven como modelo para nuevas ayudas técnicas a personas discapacitadas.

Las primeras ayudas técnicas para discapacidades datan de los años 70, con construcciones de elementos prostéticos y ortéticos (brazos, piernas y manos). En estos dispositivos el control está basado en las propias señales mioeléctricas generadas por los propios músculos del usuario, o en elementos auxiliares adaptados a las discapacidades remanentes de interacción del mismo usuario con el sistema.[4]

Actualmente, los equipos robóticos que se desarrollan, pueden ser desde un brazo mecánico convencional hasta elementos de medida, como sensores que miden fuerza o visualizan la información de un modo más claro que como lo hace una cámara de televisión convencional. Muchos factores contribuyen a expandir la necesidad de la asistencia a las personas, tales como el envejecimiento de la población y las expectativas sociales de adecuar la medicina a la gente invalidada.

Las necesidades de los usuarios y la imposibilidad de construir un robot que sustituya totalmente la mayoría de limitaciones físicas del usuario, ha llevado a desarrollar distintos tipos de sistemas robotizados diseñados según su finalidad concreta. Así pues, existen robots de diferentes tipos [6]:

- robots especializados en una aplicación concreta, como dar de comer
- robots montados sobre sillas de ruedas
- robots de base fija, instalados junto al usuario
- robots con base móvil

El nuestro se incluye dentro del tipo de robots montados sobre silla de ruedas. Estudiando lo que ya había en el mercado sobre esta clase de robots, se han encontrado proyectos similares. Sin embargo, ninguno de ellos cumplía las necesidades que Clara tiene.

Ya que cada persona tiene unas discapacidades concretas, el objetivo era adaptarse de la mejor manera posible a las que Clara tiene, sin olvidarse de que fuese adaptable para otras personas con otras necesidades o problemas.

Un ejemplo que se ha encontrado ha sido el que se menciona en el artículo del ABC del 26/09/2007 *“Presentan una silla de ruedas con brazo que permite dar de comer a personas discapacitadas. Los “robots asistenciales” toman el congreso de jóvenes investigadores celebrado en Benicassim”* [7].

Y el artículo continua con: “El congreso sobre robótica asistencial, que se celebra del 24 al 28 de septiembre en Benicàssim, acogió ayer una demostración de un prototipo real de silla de ruedas que permite automatizar diversas funciones a través de un brazo articulado, como dar de comer al usuario. Esta silla, diseñada por el investigador de la Universidad Carlos III de Madrid Carlos Balaguer, se adapta a cada persona dependiendo de su tipo o su grado de discapacidad gracias a un interfaz que permite controlar los movimientos de la silla a través de la voz, mediante una palanca o con un panel táctil. La silla de ruedas, que ya ha sido utilizada en el Hospital de Paraplégicos de Toledo, se presentó en el Internacional Robotics School on Assistive Robots, IURS 2007, un congreso orientado a la formación de jóvenes investigadores que están haciendo sus tesis doctorales en los mejores laboratorios europeos y también de otros países, como Corea del Sur, Estados Unidos o Japón.

En el artículo de El Mundo de 26/05/2009 se observa la evolución que está existiendo para poder ayudar a la gente con discapacidad mediante el desarrollo de la tecnología que está a nuestro alcance:

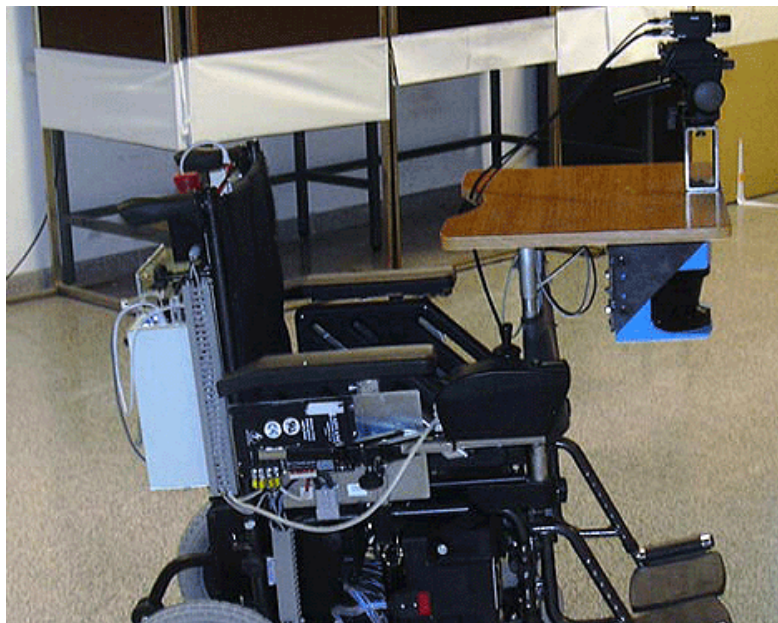


Figura 1-4: Silla de ruedas robótica. Javier Mínguez

El auditorio de Oviedo acoge las 'Jornadas sobre nuevas tecnologías y discapacidad', en las que se pretende dar un impulso a la robótica asistencial, con el propósito de favorecer la autonomía de los discapacitados y de la tercera edad.

El director del Laboratorio de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid, Carlos Balaguer afirmó que esta evolución supone avanzar un escalón tecnológico y "pasar de la

domótica tradicional en las casas, hospitales y oficinas donde nada se mueve, a introducir los nuevos electrodomésticos robotizados que puedan atender a las personas con discapacidad".

Antes de exponer su ponencia 'Robots en apoyo de la discapacidad' Balaguer apuntó que, en función del nivel de discapacidad de los pacientes, se desarrollan distintos tipos de interacción, tanto hablados como táctiles, o cerebrales, que incluso 'pueden permitir andar a una persona discapacitada a través de impulsos cerebrales'..."

Otro de los instrumentos que se han desarrollado ha sido el brazo mecánico para abrir puertas desde la silla de ruedas, DORA. Ha sido pensado por estudiantes de la Universidad de Massachusetts y han desarrollado el brazo específicamente para la función de abrir puertas. El miembro robótico está integrado en la silla de ruedas y para su funcionamiento utiliza elementos mecánicos sencillos y un motor eléctrico convencional. El costo de este sistema es de 2.000 dólares. Es muy efectivo ya que puede manipular hasta 14 tipos de pomos distintos, con tasas de éxito del 85% para las puertas que se abren hacia fuera, y un 65% si hay que tirar de ellas.



Figura 1-5: DORA Door Opening Robot Arm

Supuestamente, estas cifras pueden mejorarse con un mayor número de sensores y actuadores que le ayuden a calcular mejor la fuerza a aplicar y el ángulo de la misma, pero ya en su estado actual, el proyecto ha sido calificado de "muy impresionante" por un consultor especializado. Esta información ha sido tomada del artículo escrito el 28 de Noviembre de 2009 [8].

Además de los artículos citados, a continuación, se incluyen diversas ayudas técnicas, que se han utilizado y se están utilizando en cuanto a robots montados sobre sillas de ruedas.

- ***Robot incorporado en silla de ruedas para manipulación de objetos, presentado en la European Conference on Medical Robotics, Barcelona, año 1994:***

La posibilidad de montar el robot sobre la propia silla de ruedas confiere al usuario la capacidad de manipular los objetos de su entorno, además de desplazarse libremente en él. Como robot de este tipo, Manus ha conseguido un cierto liderazgo en Europa.

Construido en el centro de investigación TNO de Holanda, este robot ha sido diseñado para poder manipular los objetos dentro de su área de trabajo, controlado por un dispositivo de entrada, normalmente un joystick, accionado por el usuario mediante los limitados movimientos residuales de su mano. El joystick, junto a un pequeño teclado de selección de opciones, es el dispositivo utilizado también para el guiado de la silla.

Los requisitos de diseño mecánico son, por una parte, su compactibilidad (el robot es plegable para no dificultar la movilidad del usuario mientras no lo usa) y, por otra, su alcance. Su estructura con la base cilíndrica y telescópica le permita alcanzar objetos del suelo, además de realizar diferentes tipos de manipulación en su entorno. Manus es también un producto comercial y entre sus usuarios se ha demostrado su utilidad tanto para operar en un entorno laboral como doméstico para el cuidado personal [9].



Figura 1-6: Robot incorporado en silla de ruedas para manipulación

- ***Silla de ruedas robótica que permite mayor independencia al usuario, año 2006:***

La silla con el nombre HLPR, ha sido desarrollada por el NIST (National Institute of Standards and Technology), basándose en la tecnología de robots móviles desarrollada en el NIST para otras aplicaciones. Está construida a partir de una carretilla elevadora con una base en forma de U sobre ruedas pequeñas y un armazón rectangular vertical. Es lo bastante estrecha como para poder pasar por el umbral de las puertas y para adentrarse en un cuarto de baño típico. El usuario conduce la silla empleando un joystick y otros controles muy simples.

Los motores, las baterías y otros elementos están colocados de manera que se garantice un centro de gravedad que permita que una persona de hasta 130 kilogramos pueda girar hacia fuera del marco interno de la silla, hasta un inodoro, un sillón, o una cama, mientras es sostenida por los elevadores del torso. Los elevadores del torso hacen que el paciente descienda sano y salvo a su nueva posición. Incluso, de ser necesario, el marco de la silla puede permanecer en la misma posición para continuar sosteniendo al usuario y evitar una posible caída en cualquier dirección.

Este prototipo de la silla HLPR permite que quienes realizan ejercicios de rehabilitación física después de haber sufrido un derrame cerebral u otras lesiones análogas mantengan sus piernas activas sin tener que sostener todo el peso de su cuerpo. Soporte para los pies, asiento reclinable, elevadores de torso acolchados para sujetar al usuario por las axilas (y que al elevarse actúan como muletas) y una estructura en la parte inferior de la silla, son elementos que facilitan los ejercicios con las piernas. Cuando el paciente se levanta apoyado por los elevadores del torso, puede caminar mientras la silla HLPR se desplaza hacia delante lentamente. La velocidad máxima actual es de 70 centímetros por segundo.



Figura 1-7: Prototipo de silla HLPR

Los ingenieros del NIST piensan mejorar el diseño de la silla HLPR con el fin de que, entre otras cosas, maniobre de forma autónoma para depositar al usuario en los inodoros, y también para hacerla activable mediante voz, permitiendo así al paciente llamar a la silla desde otra habitación [10].

- ***Silla de ruedas controlada por voz, año 2006:***

Uno de los avances en robótica aplicada a discapacitados es disponer una silla de rueda con una serie de elementos como son sensores para medir y observar el entorno junto con una serie de micro procesadores que procesen la señal de entrada. La idea es que el usuario introduzca la dirección hacia donde quiere ir mediante la voz. Entonces será la silla con esas órdenes la que lo dirija hacia donde él quiere ir.

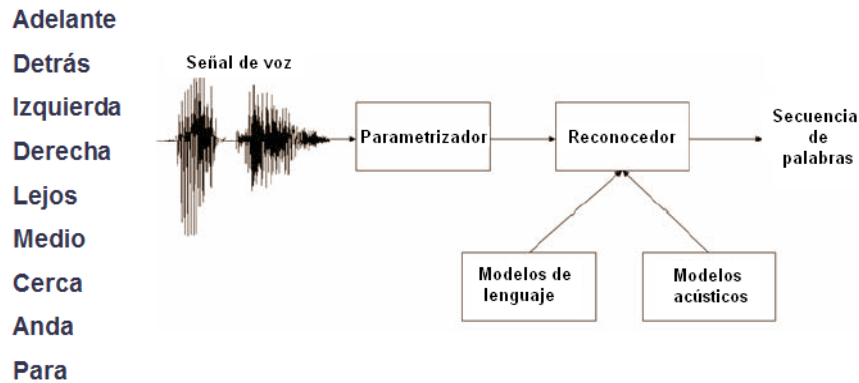
Esto supone una gran ventaja para personas con severas discapacidades motrices, especialmente en lugares o entornos en los que resulta difícil manejar la silla.

Una gran parte de la inteligencia artificial que se aplica en la ayuda a discapacitados está orientada al desarrollo de sillas de ruedas. Ya que las personas discapacitadas pasan gran parte de su vida en ellas. Esto supone una mejora en la calidad de vida ya que se amplía el rango de movilidad y manipulación de las personas que tienen problemas motrices.

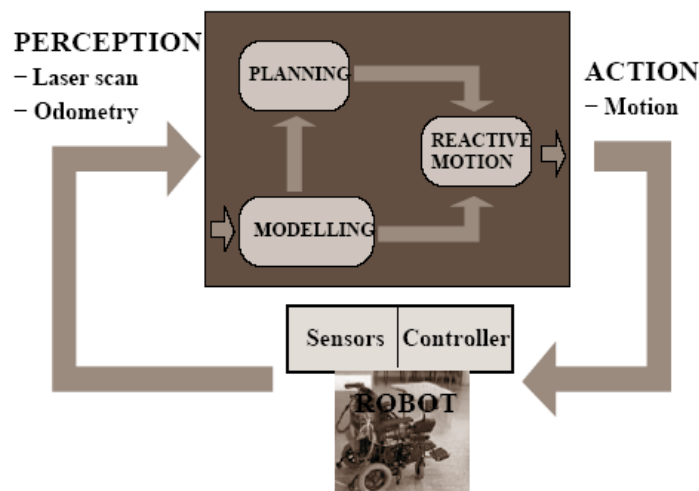
Existen una serie de factores clave que determinan como la robótica sirve de ayuda a personas discapacitadas:

- **Silla robótica.** Se trata de una silla convencional pero que está equipada con sistemas informáticos y sensores, que captan el entorno en el que se encuentra la silla. Dicha información es captada y procesada por los procesadores que se acoplan a la silla. Estos procesadores envían la información a los actuadores que correspondan.

- Interfaz hombre-máquina. Serán los elementos que permiten la comunicación. En el caso de este ejemplo es unidireccional, ya que la persona emite las órdenes. Si en el caso del presente proyecto habría que adaptarse a los problemas de dicción de Clara o de cualquier persona con problemas en el habla similares.



- Inteligencia contenida de guiado autónomo. Estos son reflejados en sistemas que generan el movimiento de un vehículo entre localizaciones mientras se evitan posibles colisiones en el recorrido [11].



- **Robot para ayuda a niños en sillas de ruedas, año 2010:**

En Estados Unidos se ha creado un robot que ayuda a los pequeños a usar su silla de rueda respetando el ritmo que cada uno tiene para este aprendizaje. Mediante la fabricación de este robot se busca mejorar la accesibilidad de sillas de ruedas para niños con capacidades diferentes. Hasta la actualidad, el aprendizaje de una silla de ruedas eléctrica requería la colaboración de un entrenador por mucho tiempo, por lo que era inaccesible para muchos pequeños que no contaban con los medios económicos necesarios.

Esta silla fue probada en la Universidad de California por niños sin discapacidad y por niños con parálisis cerebral. El método consta de un sistema de seguridad para las habilidades de conducción con una mínima asistencia.

El robot, llamado ROLY, se sitúa delante de la silla de ruedas y se dirige a lo largo de un trayecto que es marcado en una línea en el suelo y se usa para decidir qué grado de control tendrá el pequeño en la palanca de mando. Es como si tuvieran a un ayudante terapéutico sosteniéndole la mano y poco a poco le fueran dejando el control al pequeño, para que pueda dirigir su silla de ruedas en la dirección correcta.

El robot tiene el aspecto de un juguete, lo cual no inhibe ni asusta a los pequeños, además hacen movimientos al ritmo de una canción lo que hace esta difícil tarea aún más amena. Con un joystick inteligente los jóvenes discapacitados aprenden a seguirlo y van desarrollando las habilidades de conducción que van a necesitar en el día a día [12].



Figura 1-8: Robot de ayuda para niños

Otras de las conclusiones, fue que la orientación táctil es capaz de ayudar a los niños con parálisis cerebral en la orientación táctil de su silla. Ver a un niño con capacidad diferente, poderse desplazar mediante el medio que tiene a su alcance es muy importante, ya que esto le dará una independencia que lo hará sentir mejor en diferentes aspectos de la vida.

- ***Robot incorporado en silla de ruedas para diferentes operaciones***

“Inventaid” es otro prototipo de robot montado en la silla y activado neumáticamente. Está concebido para manipular objetos y durante el desplazamiento del usuario con su silla realizar otras operaciones como abrir puertas.

- ***Robot para personas con discapacidad, similar al robot Manus comentado anteriormente, año 2010:***

Un grupo de científicos del Instituto nacional de ciencia industrial avanzada y tecnología de Japón (Intelligent Systems Research Institute) han creado un brazo robótico diseñado para que las personas con discapacidad puedan realizar tareas para las que normalmente necesitarían ayuda. El brazo se llama RAPUDA, y está pensado para personas con discapacidad en las extremidades superiores. Para su funcionamiento, el brazo es montado sobre una silla de ruedas y es controlado a través de un joystick. Puede realizar tareas como levantar cosas del suelo, mover objetos en una mesa o incluso tomar un vaso para beber de él [13].



Figura 1-9: Brazo RAPUDA

Este brazo puede ayudar a alcanzar y manipular objetos con cierta precisión, pero aún es algo lento en el acto, aunque evidentemente eso es solo cuestión de tiempo para que se pueda mejorar esta tecnología.

- ***Silla de ruedas con brazo robótico controlada por ondas cerebrales, año 2008:***

La “*Wheelchair Robotic Arm*” ha sido desarrollada por Investigadores Universidad del Sur de Florida, es una silla de ruedas motorizada, Cuenta con un casco de sensores que captura las ondas cerebrales P300 y las transforma en acciones.

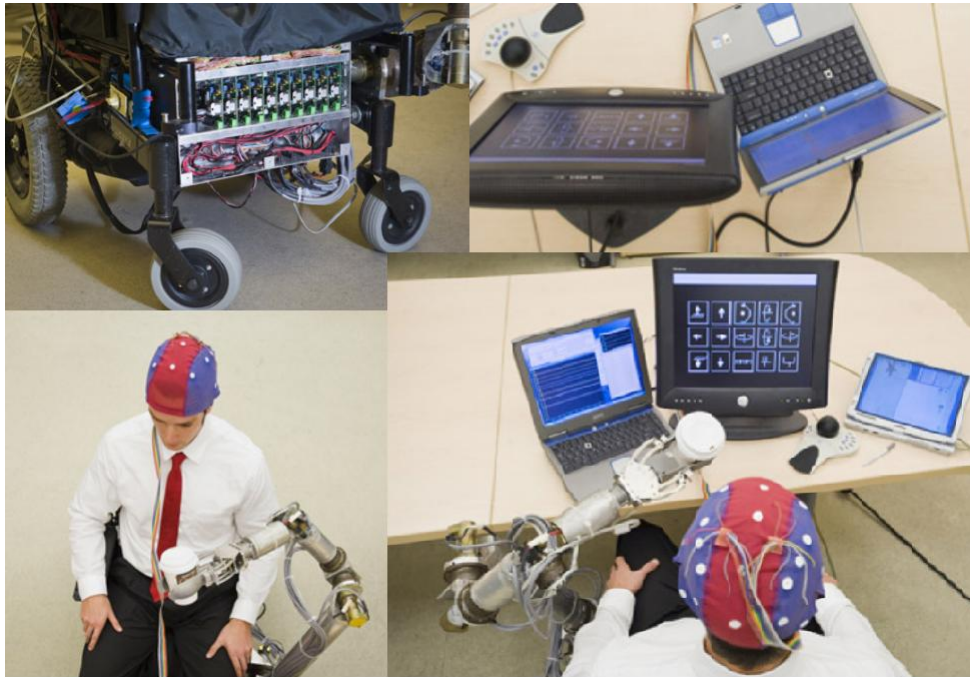


Figura 1-10: Silla de ruedas con brazo robótico controlado por ondas cerebrales

El brazo robótico que va instalado en la silla de ruedas fue creado con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas que están incapacitados de utilizar los miembros superiores, pues esta interfaz cerebral puede ser utilizada sin mover un solo músculo y hasta podría ser de gran utilidad para aquellos que se encuentran inmobilizados completamente.

En definitiva, esta silla de ruedas podría mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidades severas [14].

1.2 OBJETIVOS

El objetivo del presente proyecto es implementar el diseño de un brazo electromecánico, adaptándolo a la silla de ruedas de una persona concreta, de forma que se mejore su calidad de vida al darle la posibilidad de proporcionar un dispositivo móvil o PDA de forma que le conceda cierto grado de autonomía.

En el Departamento de Tecnología Electrónica, se está llevando a cabo una estrecha colaboración con el Colegio del Hospital de San Rafael para niños con una gran dependencia física. La colaboración consiste en desarrollar una serie de proyectos fin de carrera orientados a que los profesores y niños del colegio obtengan una serie de beneficios y mejoras en su día a día. Esta colaboración hace que mientras en la Universidad los alumnos aprenden a desarrollar un proyecto, en El Colegio los niños, profesores, fisioterapeutas y todo el equipo que trabaja allí obtengan grandes beneficios.



En este PFC se propone implementar un prototipo, intentando fundamentalmente:

- Realizar las modificaciones que precise el dispositivo para funcionar correctamente, partiendo del diseño realizado en el proyecto de Lorenzo de la Cruz [5].
- Aportar mejoras al diseño inicial del prototipo
- Mejorar la calidad de vida de una usuaria concreta, otorgándole autonomía para manejar su teléfono móvil o PDA.
- Mantener la calificación de “diseño para todos” del sistema original, es decir, que sea un diseño dirigido a todas las edades, tallas y capacidades.
- Adaptar un prototipo que sirva de ejemplo y que se pueda tomar de referencia para desarrollar nuevos elementos de ayuda a discapacitados.

A lo largo del documento se hará un breve resumen de las diferentes cualidades del diseño, continuando por los problemas surgidos y las soluciones tomadas, así como las mejoras implementadas.

El capítulo 2 expone una breve descripción del proyecto, diferenciando cada parte del sistema, e indicando un pequeño resumen, permitiendo obtener una imagen general del proyecto en sí.

En el capítulo 3 se explica el diseño mecánico del sistema, las distintas piezas y su sujeción a la silla, partiendo desde el diseño original hasta el resultado final.

El capítulo 4 describe todo el sistema de sensorización, sus características y su acoplamiento en el brazo, de nuevo partiendo desde el diseño.

Durante el capítulo 5 se describen los controles que están a disposición del usuario para que pueda controlar el movimiento del dispositivo.

En el capítulo 6 se habla de la parte electrónica, los distintos elementos que formaran el driver, incluyendo todo el sistema de alimentación del dispositivo, y el programa que convierte el brazo en un elemento automático.

Es en el capítulo 7 en el que se muestran los resultados finales una vez realizados todos los cambios y mejoras.

El capítulo 8 es el que cuenta las conclusiones obtenidas del trabajo realizado, incluyendo una reflexión sobre posibles trabajos futuros a realizar para mejorar el prototipo.

En la parte final del documento se incluyen los anexos, donde se muestra información y documentación detallada sobre:



- Pliego de condiciones con los materiales utilizados.
- Presupuesto, donde se incluyen todos los costes necesarios.
- Código fuente que compone el software definitivo.
- Hojas de catálogo de los principales elementos utilizados en el sistema.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Durante este capítulo se dará una visión general del prototipo fabricado, del cual se puede ver un esquema en el diagrama de bloques de la figura 2-1, y con el que es posible hacerse una idea de la envergadura del trabajo realizado. Se hará una pequeña descripción de cada uno de los bloques en que se puede dividir este conjunto antes de comenzar a explicar con detalle cómo se ha llevado a cabo el proyecto de implementación del diseño generado en el proyecto *“Brazo extensible para utilizar móviles o PDA’s en silla de ruedas (I): Diseño”*, escrito por Lorenzo de la Cruz [5].

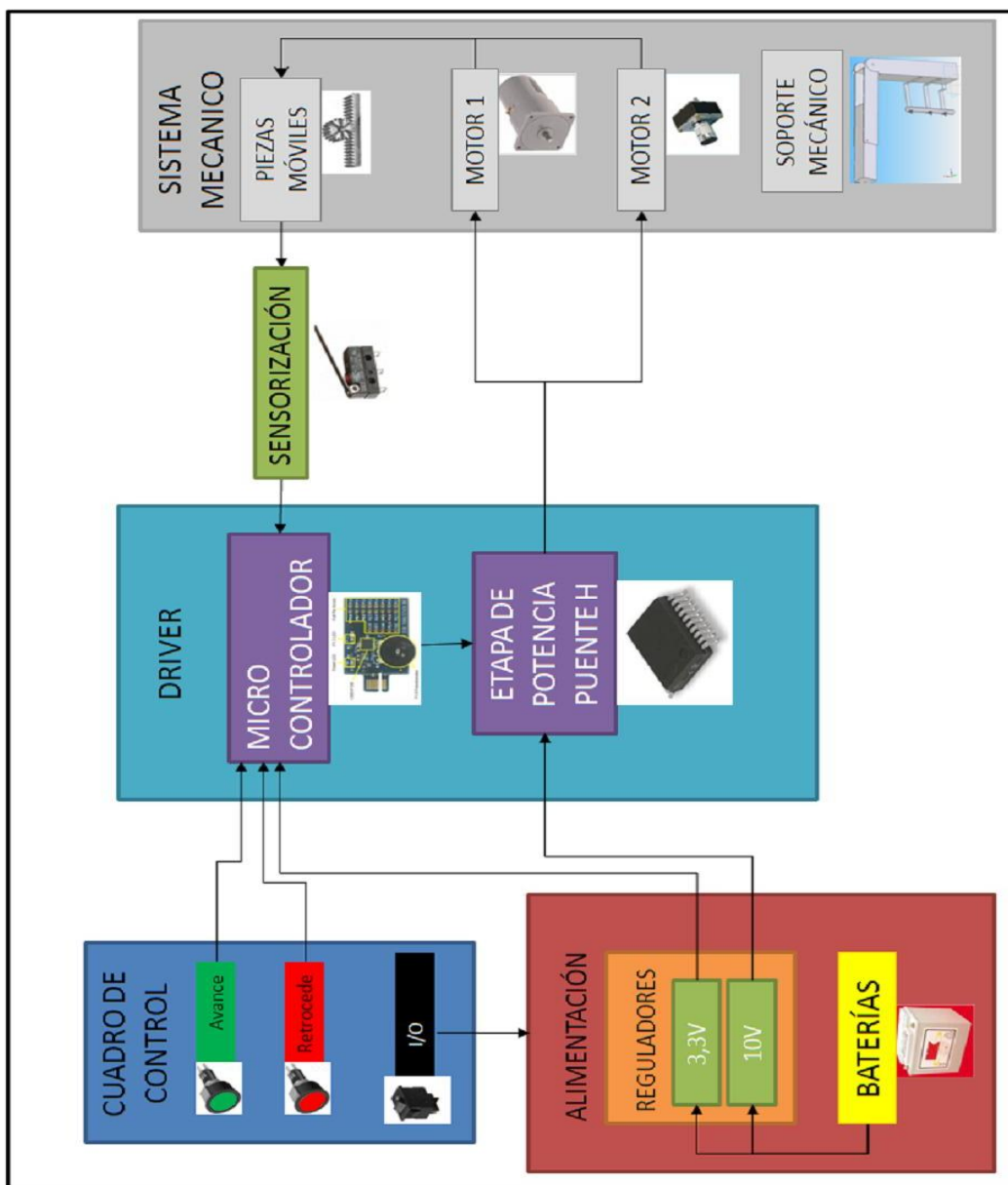


Figura 2-1: Diagrama de bloques del sistema completo



Como se observa en el diagrama de bloques, el sistema se ha dividido en sistema mecánico, sensorización, driver, cuadro de control y alimentación.

El sistema mecánico lo forman principalmente las piezas del brazo mecánico (a lo que también se le llamará chasis), los motores, el soporte para sujetarlo a la silla y los engranajes correspondientes para transmitir el movimiento desde los motores hasta a las piezas.

El bloque driver está formado por la unidad de control y un puente H integrado. El puente H proporciona la potencia necesaria a los motores en función de la información que reciba de la unidad de control. Ésta última recibe la información del movimiento que el usuario quiere que se realice: avanzar, retroceder o parar. Asimismo, controla el movimiento de los motores en función de la información que reciba de los sensores acerca del estado del sistema.

Desde el cuadro de control el usuario puede encender o apagar el dispositivo y controlar el movimiento (avance o retroceso) mediante una serie de botones.

El bloque de alimentación, como su propio nombre indica, alimenta la electrónica de los demás bloques.

El bloque de sensorización es el sistema utilizado para que la unidad de control sepa en qué estado se encuentra el brazo y, por lo tanto, qué motor tiene que moverse en cada momento o si es posible que lo haga (ya que indica los límites del campo de acción¹ del brazo).

2.2 SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico está formado por toda la estructura que logra que el usuario tenga el dispositivo móvil en un lugar accesible y que no le resulte molesto para realizar cualquier otra acción, como por ejemplo desplazarse con la silla sin que nuestro dispositivo limite los movimientos.

Para lograr esto se hizo un estudio del espacio que ocupaba la silla y se diseñó de tal manera que el sistema no sobrepasase las medidas de la silla. Una vez terminado el diseño se implementó en la silla de un usuario concreto, Clara, y se comprobó que realmente cumplía con las expectativas marcadas, respetando:

- La situación dentro del espacio libre que ocupan la silla y el usuario.
- La distancia necesaria para que el usuario pueda hacer uso del móvil.
- La posibilidad de quitar el dispositivo de una manera fácil y sencilla de la silla.

¹ Área de trabajo o campo de acción es el volumen espacial al que puede llegar el extremo del robot. Este volumen está determinado por el tamaño, forma y tipo de los eslabones que integran el robot, y también por las limitaciones de movimiento impuestas por el sistema de control.



El bloque del sistema mecánico se puede dividir además en otros tres bloques diferenciados:

- El soporte: todas las piezas utilizadas como fijación para el chasis.
- El chasis: formado por todas las piezas que conforman la estructura general. Se trata de tres piezas que sirven como soporte para fijar todos los demás elementos, tales como los motores, la placa, o los engranajes.
- Los motores y engranajes: los motores son los elementos usados para lograr los movimientos de rotación y traslación de las piezas que sitúan el móvil en el lugar requerido por el usuario. Los engranajes son los que transmiten ese movimiento de los motores hasta las piezas. Para conseguir el movimiento de rotación, la única misión de los engranajes es la de transmitir ese giro, mientras que en el movimiento lineal, se encargan además de transformar el giro en un movimiento rectilíneo.

2.3 DRIVER

El bloque “Driver” lo forman, a su vez, otros dos bloques: la unidad de control, que genera una serie de señales en función de la información que el usuario quiera que se envíe (avance, retroceso o detención) a través de los controles, analizando previamente la posición de las distintas piezas; y el puente H, que hace girar a los motores en una dirección u otra en función de esas señales que envía la unidad de control.

2.4 CUADRO DE CONTROL

El cuadro de control es el interfaz de comunicación entre el brazo mecánico y el usuario y dispone de tres botones.

Uno de estos botones es un interruptor de encendido/apagado, y los otros dos sirven para indicar si se desea posicionar el teléfono móvil (o cualquier dispositivo que se una al prototipo) o apartarlo y plegar el brazo para situarlo en la parte trasera de la silla de ruedas.

Estos dos botones sirven también para detener el movimiento en curso en cualquier momento, y realizar lo que durante el presente documento se denominará “parada de emergencia”.



2.5 SENSORIZACIÓN

El bloque de sensorización abarca todo el sistema encargado de recoger información de la posición en la que se encuentra el prototipo y que luego recibe el microprocesador para actuar en consecuencia.

Se usan interruptores internos para conocer la distancia a la que se encuentra del usuario, e interruptores externos para saber si el brazo está recogido (en posición vertical en la parte trasera de la silla de ruedas) o se ha situado el teléfono móvil frente al usuario, Clara en este caso (en posición horizontal, en la parte delantera de la silla).

2.6 ALIMENTACIÓN

El bloque de alimentación es el que integra las baterías utilizadas y los bloques de regulación de tensión, que ajustan la tensión disponible a las necesidades de la electrónica usada.

3 IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO

3.1 SOPORTES

El diseño realizado en inicio para el soporte mecánico constaba de tres sujeciones: dos de ellas iguales y la tercera diferente (la sujeción que se ha resaltado en la Figura 3-1) para ajustarse mejor al espacio disponible en la silla en la que se instalaría nuestro diseño.

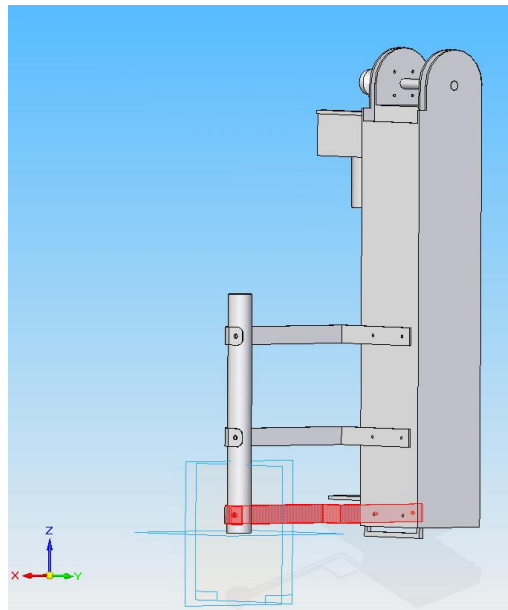


Figura 3-1: Diseño de anclajes del dispositivo a la silla Tipo 2

Este diseño pretendía unir la pieza principal a la silla (siendo esta a su vez la que soporta al resto del sistema) fijándola a una de las barras que tiene la silla de ruedas en su parte posterior y que llegan hasta las asas de la silla. Al terminar la pieza diseñada en forma de U por el extremo que se une a la silla, se podría hacer la fijación con una palometa, ejerciendo presión (Figura 3-2). Con esto se lograría que el dispositivo pudiese ser retirado de la silla fácilmente, sin necesidad de herramientas adicionales.

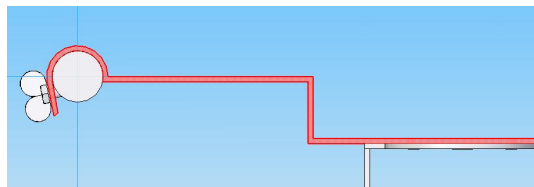


Figura 3-2: Detalle del diseño del anclaje del dispositivo a la silla de ruedas

Si bien el diseño inicial parecía satisfactorio, esta no fue la solución final. Debido a la supuesta imposibilidad para fabricar estas piezas en el servicio de Oficina Técnica de la Universidad Carlos III de Madrid, donde se realiza este proyecto, se optó por buscar una solución comercial que se adaptaba perfectamente a las necesidades: situaba el sistema a una altura y distancia correcta de la silla, en la que había espacio suficiente para hacer la instalación y que no interfería en el movimiento de la misma.

La solución se trató de dos escuadras de acero de dimensiones 19x98 mm (ancho y largo de cada uno de los dos lados) fijadas por un extremo al chasis mecánico y por el otro a una abrazadera que, a su vez, se fijaba a las barras de los agarraderos de la silla mediante palometas (Figura 3-3). De esta forma se lograba mantener la sencillez a la hora de instalar o retirar el prototipo de la silla que se buscó en un primer momento.



Figura 3-3: Anclaje del prototipo a la silla

Finalmente, esta solución resultaba poco estable, ya que al moverse el sistema (durante un despliegue o recogida), las vibraciones del brazo eran considerables. Por este motivo fue necesario instalar una nueva pieza que hiciese que las escuadras fuesen más robustas.

Como se puede observar en la Figura 3-4, esta solución se trata de una placa alargada de aluminio, de 11 mm de ancho, que une un extremo y otro de la misma, de forma que mantiene constante la distancia a la que se mantienen éstos, al transformar la sujeción en un triángulo cerrado en lugar de un ángulo de 90°.

Esta pieza, de nuevo imposible de fabricar por la oficina técnica, fue fabricada por un ayudante independiente sin necesidad hacer un diseño específico.

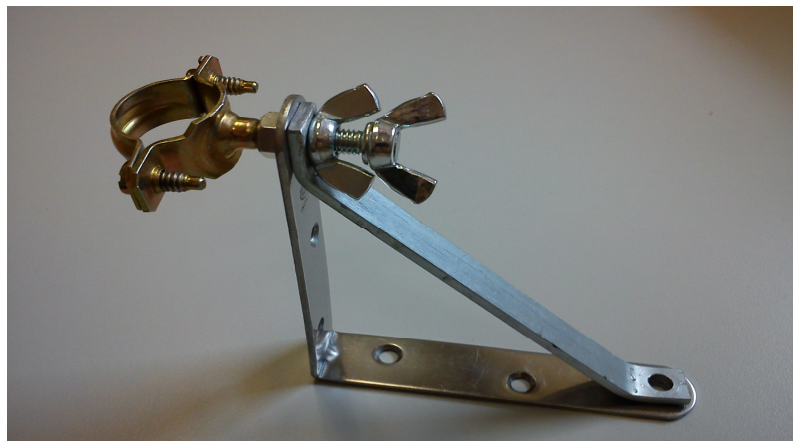


Figura 3-4: Anclaje definitivo del prototipo a la silla

Una vez instalada esta pieza se solucionó el problema: se logró dar estabilidad a las escuadras sin cambiar las condiciones del conjunto, por lo que se mantuvieron las características y se respetaron las condiciones de la silla de Clara.

3.2 ESTRUCTURA (CHASIS)

En el diseño original se pretendía que la estructura del brazo se situase en la parte trasera de la silla mientras permaneciese cerrado, y paralelo a la parte izquierda de la silla, a cierta altura sobre el reposabrazos cuando se encontrase extendido (esta altura no era totalmente fija, ya que el espacio disponible permitiría cierto margen en cuanto a la altura a la que se pueden fijar los soportes), ajustándolo a un usuario concreto pero sin olvidar la posibilidad de que fuese un diseño universal, adaptable a cualquier otro con unas simples modificaciones (ver figura 3-5).

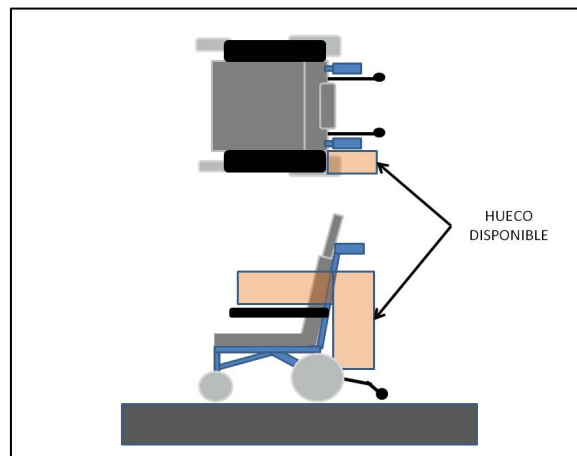


Figura 3-5: Situación del hueco disponible

La estructura del brazo se situó finalmente en el lugar previsto: se encuentra a una altura acorde con las necesidades de Clara, siguiendo sus indicaciones expresas, a la altura que ella misma indicó y a la distancia a la que le resultaba más cómoda. Como se aprecia, y siguiendo las directrices del Diseño para Todos [15], en esta fase de diseño se cuenta también con el usuario final, para evitar problemas futuros a la hora de entregarle la pieza.

La altura podría haberse ajustado del mismo modo a cualquier otro usuario, así como cambiarlo de lado en la silla. Sin embargo, se decidió ponerlo en este lugar debido a que Clara maneja con menor dificultad su brazo izquierdo. Una vez instalado, al encontrarse en posición extendida, el teléfono móvil queda en la parte izquierda de la silla, a una altura a la que Clara tiene espacio más que suficiente para descansar sobre el reposabrazos (las piezas que sitúan el teléfono en el sitio requerido no interfieren en las actividades normales de Clara) y a la que ella puede visualizar fácilmente la pantalla del teléfono móvil y manejarlo sin problemas.

Además, los movimientos que realiza el brazo (cuando “entra” y se sitúa recogido en la parte trasera de la silla de ruedas, o cuando “sale” para situar el móvil frente a la silla) no suponen una dificultad añadida para Clara, ya que el sistema se activa mediante pulsadores que se encuentran a una posición cómoda para ella.

Por este motivo, no ha sido necesario modificar la estructura original de ninguna de las tres las piezas del chasis diseñadas en un principio. De aquí en adelante, y siguiendo con la nomenclatura usada en el proyecto de diseño (“*DESARROLLO DE UNA AYUDA TÉCNICA PARA ALUMNOS DEL COLEGIO SAN RAFAEL (3): Brazo extensible para utilizar móviles o PDAs en silla de ruedas (I): Diseño*”). [5], se nombrarán como pieza A, B y C, empezando por la pieza a la que se sujeta directamente el teléfono y terminado por la pieza principal, que fija el brazo a la silla y que resguarda a las demás cuando se retrae el sistema en la parte trasera. EA continuación, en la figura 3-6, puede verse el diseño original de las piezas:

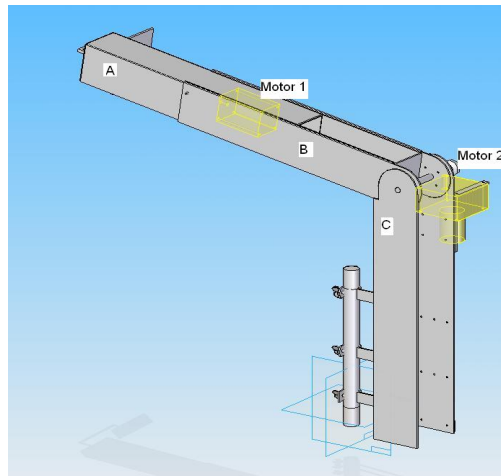


Figura 3-6: Diseño de situación de las piezas y motores

Y como se observa en la figura 3-7, el resultado final coincide con el diseño:



Figura 3-7: Situación de las piezas

La pieza C une todo el conjunto a la silla, fijándose a los anclajes de la silla, y en ella se sitúa uno de los motores (motor 2); la pieza B se girará 270° respecto a la anterior y se acopla a ella cuando se recoge completamente el dispositivo. Esta segunda pieza (B) además, contiene en su interior a la pieza A durante el estado de reposo, y en ella se sitúa el motor 1. La pieza A lleva acoplada el dispositivo móvil y tiene un desplazamiento lineal respecto a la B cuando esta última se encuentra en su posición desplegada, lográndose gracias a una cremallera instalada

en la pieza A, que transforma el movimiento rotativo del motor 1, como se detallará mas adelante.

3.3 SUJECIÓN PARA EL TERMINAL MÓVIL

En cuanto a la sujeción para el teléfono móvil, se hizo un diseño inicial que pretendía fijar al extremo del brazo una placa en la que se sujetaría directamente el teléfono móvil (Figura 3-8).

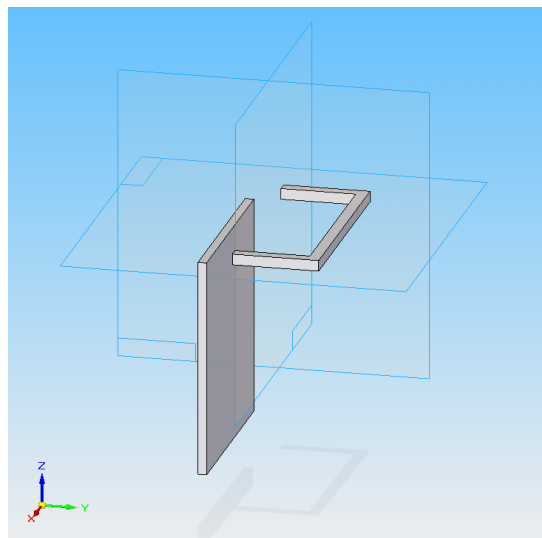


Figura 3-8: Diseño de la sujeción para el móvil

Sin embargo, y nuevamente debido a problemas para realizar esta pieza en la Oficina Técnica, se buscó un dispositivo comercial que ejercía la función de agarre, y se diseñó otra pieza adaptada a este nuevo mecanismo, que sí pudo realizarse finalmente (figura 3-9).

Además, este dispositivo permitía que el teléfono móvil no se encontrase permanentemente sujeto a la pieza, sino que añadía la posibilidad de ponerlo y quitarlo fácilmente y además se adaptaba a todo tipo de terminales (universal), sin dejar de ser una sujeción robusta. En la figura 3-9 se aprecia el diseño de la pieza definitiva, y se puede comparar las diferencias con la pieza diseñada inicialmente (figura 3-8):

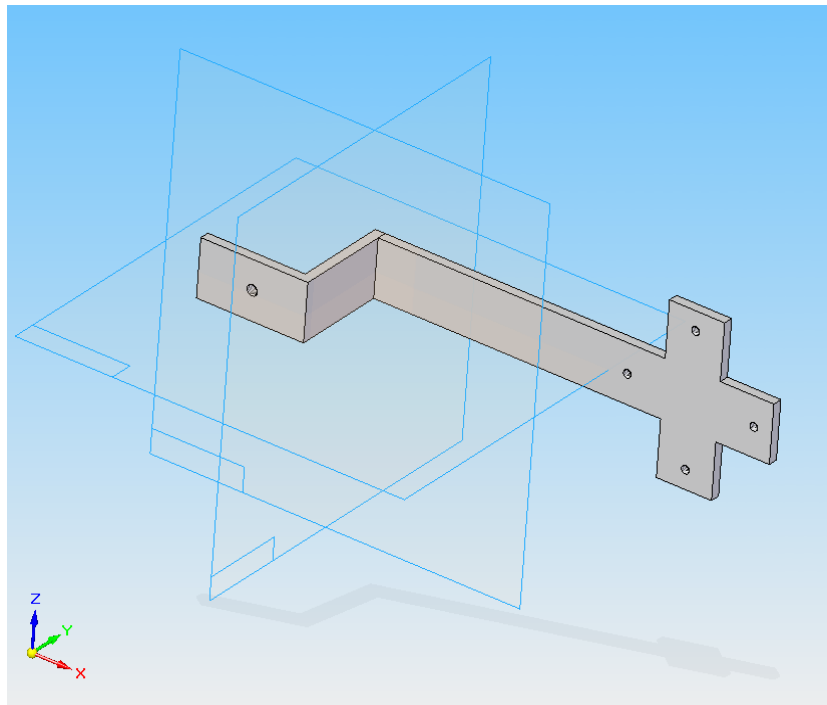


Figura 3-9: Diseño de la sujeción para el móvil acoplada al dispositivo

En las figuras 3-10 y 3-11 se ve el conjunto de sujeción real que se ha utilizado finalmente, con el dispositivo de sujeción para móviles comercial ya acoplado y la pieza que lo une a nuestro sistema. El dispositivo comercial se trata de un sistema de agarre que se adapta al ancho del móvil presionando directamente sobre la pieza 1 hasta que quede fijo. Para aflojarlo se logra presionando sobre la pieza 2, que libera la presión que hace el aparato y se abre automáticamente:



Figura 3-10: Sujeción para el móvil definitiva (parte delantera)



Figura 3-11: Sujeción para el móvil definitiva (parte trasera)

3.4 RESULTADO DEFINITIVO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA:

Como resultado final, en las siguientes figuras se puede ver el brazo en los diferentes puntos por los que pasa. Primero se aprecia la posición de reposo (Figura 3-12), cuando el brazo se encuentra recogido en la parte trasera de la silla de ruedas. En segundo lugar (figura 3-13) se puede ver cómo se encuentra cuando ha hecho el movimiento de apertura (Figura 3-13), en el que las piezas A y B se desplazan mediante un giro hasta la parte delantera de la silla. Y finalmente se aprecia el resultado tras realizarse el movimiento de extensión (Figura 3-14), situando el móvil a la distancia correcta en la parte delantera.

Además es posible apreciar las sujeciones del brazo a la silla definitivas, que van desde la pieza C hasta una de las barras traseras de la silla, y el dispositivo de sujeción en el que puede instalarse un móvil, fijado en el extremo izquierdo (viendo la figura 3-13) de la pieza A.



Figura 3-12: Posición de reposo del brazo



Figura 3-13: Posición intermedia del brazo



Figura 3-14: Posición extendida del brazo

3.5 MOTORES Y ENGRANAJES

El diseño del sistema pretendía que éste realizara dos movimientos: uno de giro (con el eje aproximadamente a la altura del hombro de Clara) para ajustar la altura del móvil, y otro lineal (desplazamiento horizontal paralelo al reposabrazos) para ajustar la distancia. Esto se haría mediante dos motores de corriente continua de 12V.

En adelante, se nombrará a los motores del sistema según la nomenclatura seguida en el documento de diseño del proyecto y que es previo al presente: *“DESARROLLO DE UNA AYUDA TÉCNICA PARA ALUMNOS DEL COLEGIO SAN RAFAEL (3): Brazo extensible para utilizar móviles o PDAs en silla de ruedas (I): Diseño”*. De esta forma el motor que proporciona el movimiento lineal o de extensión se denominará “motor 1”, mientras que el motor instalado sobre la pieza A y que logra el movimiento de apertura del sistema se nombrará como “motor 2”.

Para el movimiento lineal se decidió convertir el movimiento de giro del motor en lineal mediante un mecanismo de engranajes como el de la figura 3-15, en el que uno de ellos es una cremallera (engranaje de diámetro infinito). Ésta última se situaría en la pieza A y se pensó en

usar una cremallera de acero para conseguir que el mecanismo fuese resistente y no se deteriorase con el paso del tiempo.

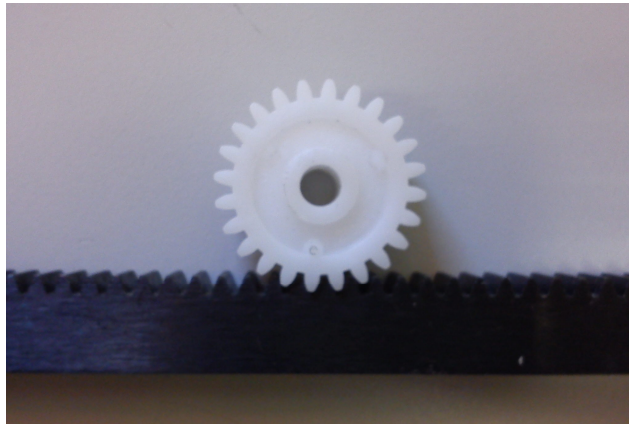


Figura 3-15: Mecanismo de cremallera

El motor transmitiría el giro a un rodamiento, que cambiaría el giro de plano y que mediante un eje, haría girar una rueda dentada que a su vez haría avanzar o retroceder la cremallera y por tanto toda la pieza a la que se fijaba la misma. En la imagen que sigue (figura 3-16) se puede ver un esquemático:

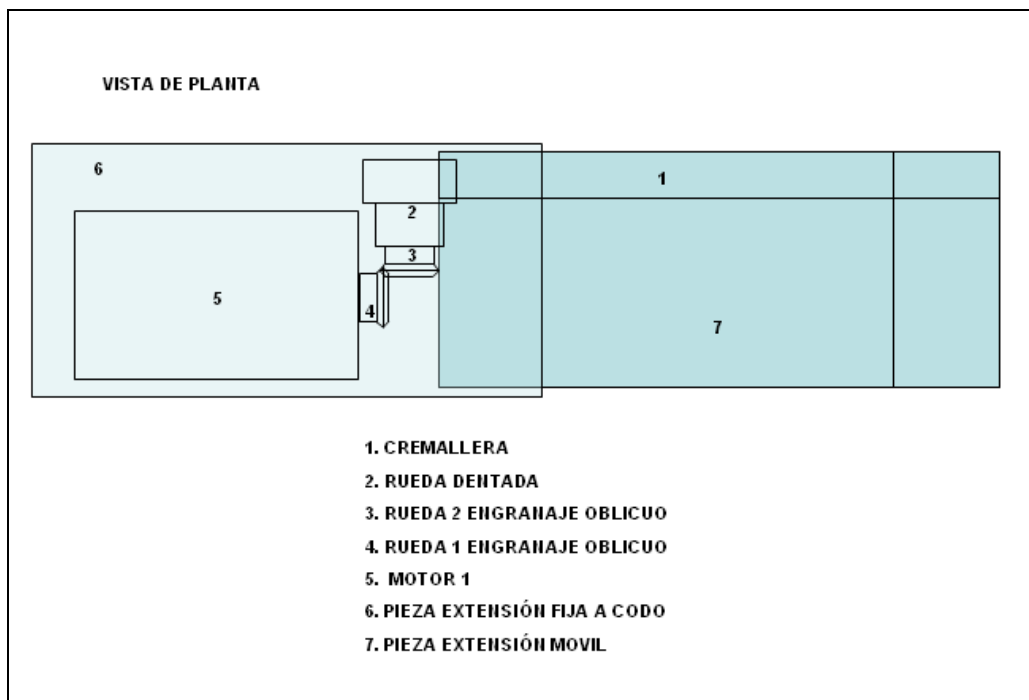


Figura 3-16: Esquemático de funcionamiento del motor 1

El peso total que soportaría el motor 1 para ejercer este movimiento sería de 8.937 N, con un rozamiento de 1.79 N (según los cálculos realizados en el diseño). Se pretendió, además, que el motor tardase en realizar todo el desplazamiento lineal en aproximadamente 10 segundos (un movimiento lento que no pueda producir daños a Clara o a cualquier otra persona u objeto que se encontrara en el área de acción). Y con estas condiciones se eligió el motor con código de referencia 336-315 del catálogo de RS (figura 3-17).



Figura 3-17: Imagen del motor 1, acoplado en la pieza B

Este motor era capaz de proporcionar un par de hasta 150 mNm y girar a 60 revoluciones por minuto con la carga nominal, como puede verse en la tabla 1 (extraída de la hoja de características proporcionada por el fabricante):

catalogue number 9904 120 52..	402	602	405	605	
reduction ratio	9 : 1		50 : 1		
Nominal values					
voltage (d.c.)	6	12	6	12	V
torque	25		125		mNm
speed at nom. load at no load	330 415		60 78		rev/ min
current at nom. load at no load	360 80	185 45	360 80	185 45	mA mA
input power	2.1	2.2	2.1	2.2	W
direction of rotation *	CW		CW + CCW		
max. radial force on the bearings	2		6		N
max. axial force	2		6		N
Limiting conditions					
max voltage (d.c.)	9	18	9	18	V
max. perm. load	37.5		150		mNm

* Viewed from the shaft end

Tabla 3-1: Especificaciones del fabricante del motor 1 seleccionado

Se realizaron pruebas y este movimiento se producía correctamente. Sin embargo, el diseño inicial para este movimiento se modificó más tarde, a consecuencia del otro movimiento (el de rotación producido por el motor 2), como se explicará más adelante.

Para hacer girar las piezas A y B mediante el motor 2 se hizo un diseño que pretendía transmitir el movimiento directamente al eje de rotación, ayudándose de dos engranajes cónicos iguales de acero que cambiarían de plano el movimiento, de forma que al fijar el motor a la pieza C se ocupase un menor espacio. El eje deslizaría sobre la pieza C, y estaría fijado a la pieza B. Se puede ver el esquemático en la imagen que sigue (figura 3-19), donde la pieza 4 (pieza de aluminio fija) es la que se denomina pieza C, y la 5 (pieza de aluminio móvil solidaria a la rueda 3), corresponde con la pieza B:

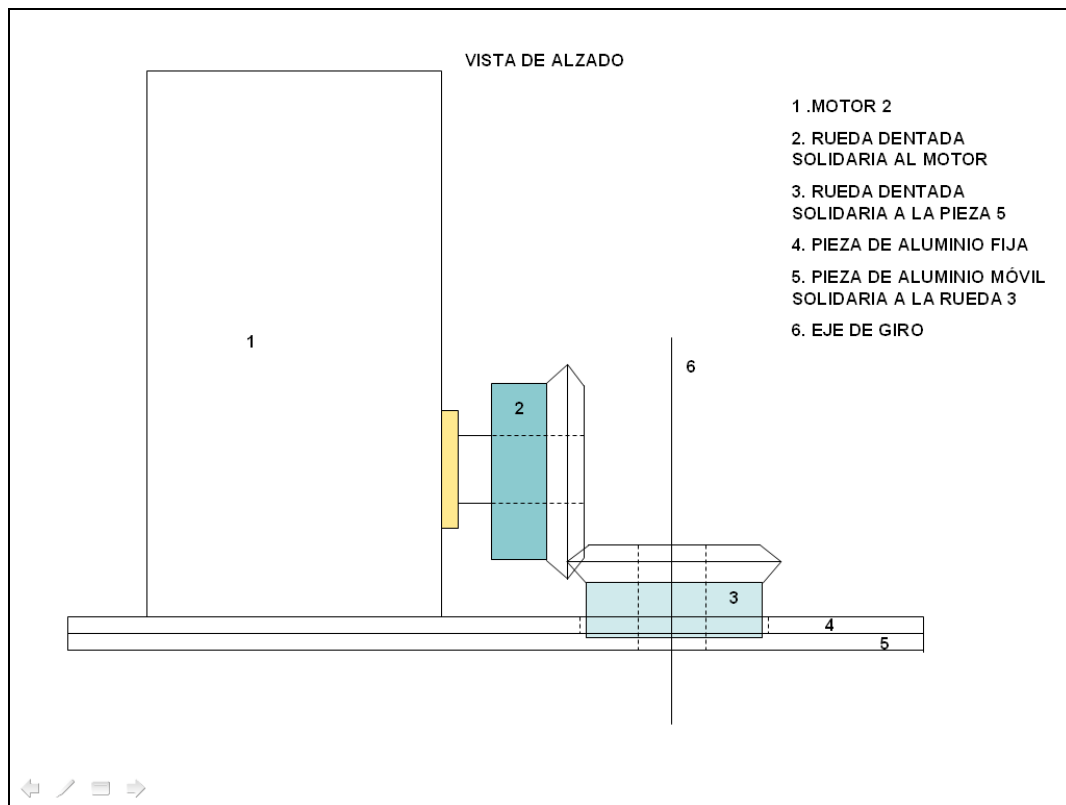


Figura 3-18: Esquemático de posicionamiento de engranajes del motor 2

El peso máximo que debía soportar el motor 2 sería de 13.557 N. Y situando el centro de gravedad lo más lejos posible (en el extremo de la pieza A, a 300mm de distancia) resulta que el momento máximo que soportaría este motor sería de 4.068 Nm (según el diseño). Al igual que con la elección del motor 1, se tuvo en cuenta que la velocidad del giro fuese lenta, y se encontró un motor de corriente continua con caja reductora en el catálogo de RS (figura 3-20) que cumplía con estas necesidades: proporcionaba un par de salida de 5 Nm, y tenía una velocidad máxima de 8.6 rpm, es decir, que para recorrer los 270° tardaría un máximo de 5.23 segundos.



Figura 3-19: Motor 2, fijado a la pieza C

Se realizaron las pruebas con este motor, y dado que no se había tenido en cuenta el rozamiento entre piezas, considerable tras la fabricación de las mismas, el motor no podía realizar el movimiento correctamente, ya que al llegar a cierto ángulo, el par era superior al que el motor podía ejercer.

Por este motivo, fue necesario cambiar la configuración del sistema, incluyendo la parte encargada de transmitir el movimiento lineal, como se ha dicho antes, de forma que se aproximasen todo lo posible todos los pesos al centro de giro y se aligerase el peso total del conjunto formado por las piezas A y B, y su contenido.

Para solucionarlo se pensó en situar el motor 1 en la parte más cercana al eje de giro disponible en el interior de la pieza B y añadiendo una varilla roscada a modo de extensión del eje del motor. El movimiento lineal se conseguiría al fijar a la pieza A otra que ejercería de “tuerca” y que se deslizaría por la varilla roscada logrando el movimiento rectilíneo.

Sin embargo, se decidió que era más útil reutilizar los componentes de que ya se disponía, ya que esta configuración habría necesitado:

- una varilla roscada fabricada en la Universidad (al necesitar un paso muy largo para tener una velocidad adecuada), y los técnicos del Taller de prototipos del Servicio de Oficina Técnica indicaron la imposibilidad de fabricar dicha pieza.
- el cambio del motor por otro con una velocidad de giro mayor.

Por este motivo, se decidió que lo único que había que hacer era trasladar el movimiento rotatorio hasta el mismo punto que se había previsto en el diseño inicial (necesario para extender al máximo el brazo), manteniendo el motor junto al eje de rotación. Puede verse el resultado final en la figura 3-21:

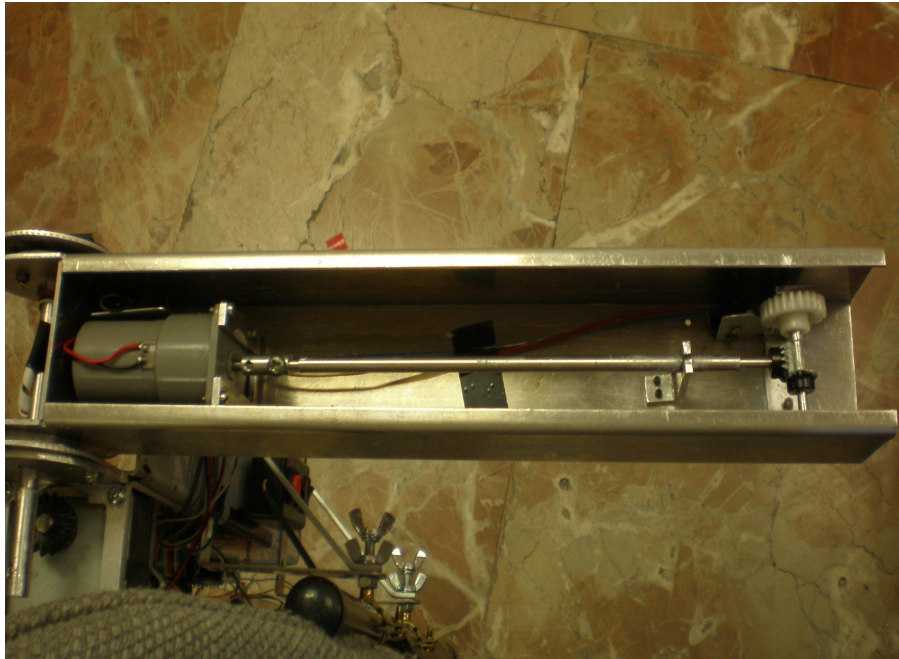


Figura 3-20: Interior de la pieza B

Como se puede ver en la figura 3-22, se prolongó el movimiento del eje del motor mediante una varilla o eje unido al mismo, trasladando el movimiento hasta el lugar en que se previó que estaría en un inicio. La unión entre el eje del motor y la barra de extensión se realizó mediante una pieza con forma de cilindro, con dos taladros por los que se introducían dos tornillos que ejercían presión sobre ambos ejes. En estos ejes, además, se hicieron dos muescas en los puntos donde se sitúan los tornillos, evitando que los ejes puedan girar de forma independiente.

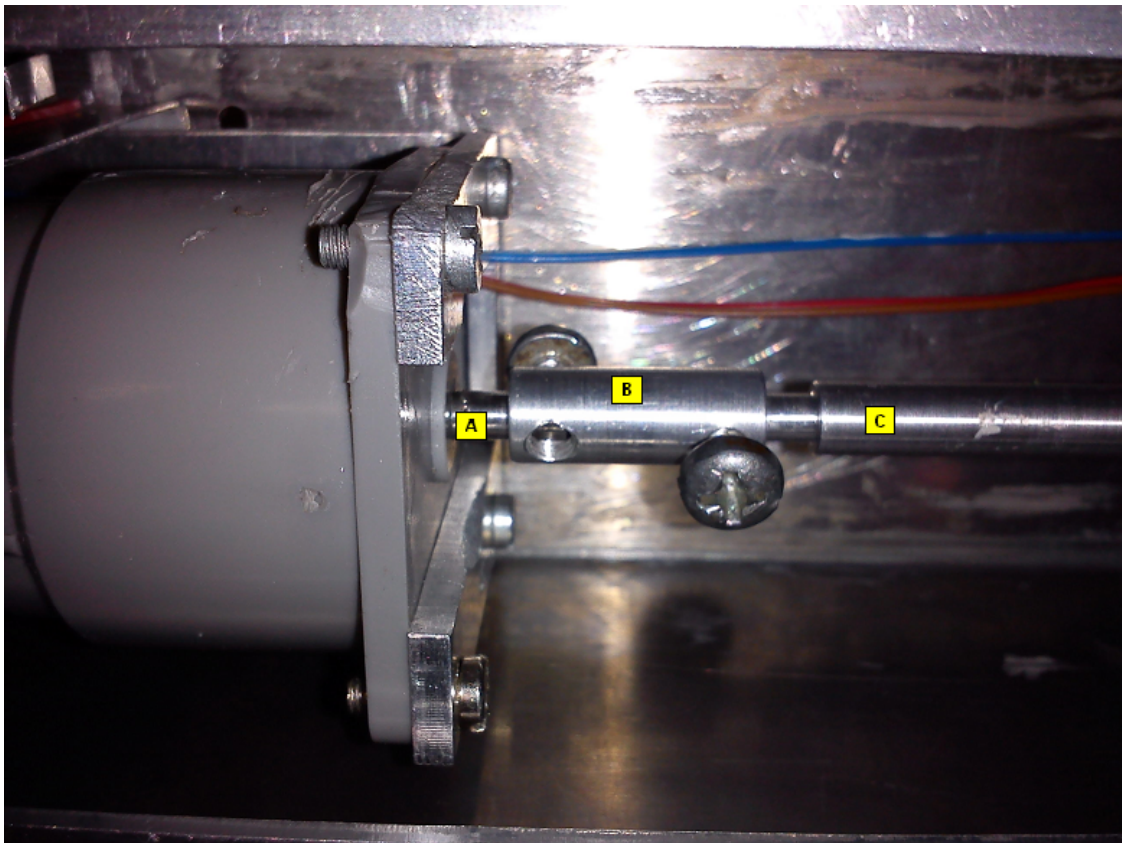


Figura 3-21: Detalle de la unión del motor 1 con el eje

Se redujo también el peso del conjunto de las piezas A y B aligerando el peso de la cremallera, ya que al ser de acero era muy pesada. Para ello se eligió una nueva cremallera de las mismas condiciones pero en otro material mucho más ligero, el nylon. Esta cremallera resultaba menos robusta que la de acero, pero el desgaste que soporta la cremallera es muy pequeño y se comprobó que no producía alteraciones en la misma. Se sustituyó también la rueda que le transmitía el movimiento por otra del mismo material que la cremallera, ya que la anterior era también de acero y aunque era pequeña, se encontraba en una zona muy alejada al centro de giro y hacía aumentar el par que soportaba el motor 2 por su peso.

Y finalmente, con el objetivo de aumentar el par del motor 2 y asegurarse de que el movimiento se realizase correctamente, se decidió cambiar uno de los rodamientos que transmiten el movimiento de este motor. Se cambió el segundo rodamiento (el que se fija al eje de rotación) a otro con el doble de diámetro pero compatible con el anterior (mismo módulo), de forma que aumentase el par que ejerce el motor a costa de disminuir la velocidad del giro. El tiempo en recorrer los 270° una vez aplicada esta mejora era de unos 20 segundos para un movimiento completo, lo que no resultaba lento, y una vez hechos todos los cambios, se comprobó que la solución resultaba efectiva.

En la siguiente imagen se observa el resultado final del mecanismo encargado de realizar este movimiento de rotación: motor, engranajes, eje de giro...

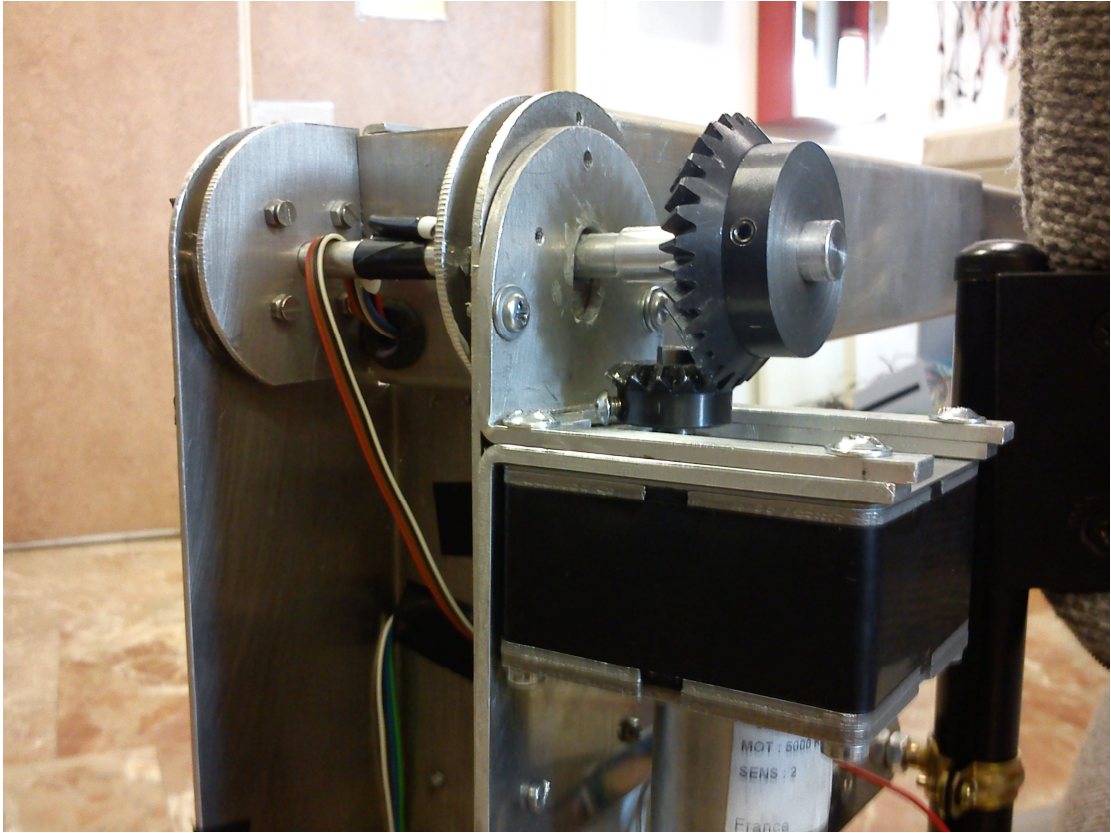


Figura 3-22: Detalle del mecanismo del motor 2

4 CONTROL DEL ENTORNO. SENSORIZACIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Como se ha ido mencionando a lo largo del documento, se ha utilizado un sistema de sensorización para conocer el estado del conjunto, concretamente de la posición en que se encuentra en cada momento. Y esta información se envía al microprocesador, que actúa en consecuencia.

Para esta misión, se ha utilizado una serie de sensores conocidos como “de fin de carrera” que indican si se ha alcanzado una de las posiciones “clave” para el funcionamiento.

4.2 IMPLEMENTACIÓN FÍSICA

Se hizo un diseño inicial en el que se decidió utilizar una serie de interruptores de pestaña, que alimentados a 3.3 Voltios y una vez tratada la señal de los mismos (mediante los circuitos antirrebotes) enviarían un 1 lógico al micro en el momento en que fuesen presionados, es decir, cuando el brazo estuviera en la posición que marcaran estos sensores.

La elección del diseño se mantuvo en el prototipo definitivo. Se han utilizado cuatro sensores de tipo interruptor de pestaña como el que se muestra en la siguiente imagen:



Figura 4-1: Sensor de posición tipo fin de carrera

Estos sensores tienen dos pines de alimentación, NO y NC, que en nuestro caso se alimentan a tierra y a 3.3V respectivamente, y uno de salida variable (COM). Cuando el sensor se encuentra en reposo, la salida se encuentra cortocircuitada con el pin “NO” (y por lo tanto a tierra), y cuando se pulsa se cortocircuita con el pin “NC” (envía una señal de 3.3V al micro).

4.3 IMPLEMENTACIÓN HARDWARE

Coincidiendo con lo previsto, se han unido las salidas de los sensores (pines “COM”) con el microcontrolador, de forma que envíe la señal a los pines 0 al 3 del puerto P0.

Por su parte la alimentación de estos sensores se ha llevado también desde la placa. Se alimentan a 3.3V desde el mismo nodo en el que se alimentan el microcontrolador y la lógica del MPC17531AEV, para aprovechar la tensión ya disponible y optimizar el circuito al no tener que usar un nuevo regulador de tensión.

4.4 ACOPLAMIENTO A LA ESTRUCTURA

Desde un principio se decidió que se instalarían únicamente 4 sensores en los puntos que marcarían las posiciones relevantes del brazo. Pueden verse estas posiciones en las imágenes del diseño que aparecen a continuación (figura 4-3):

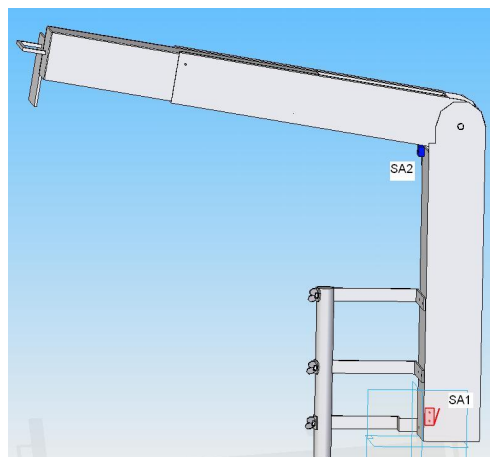


Figura 4-2: Posición prevista en el diseño para los sensores SA1 y SA2

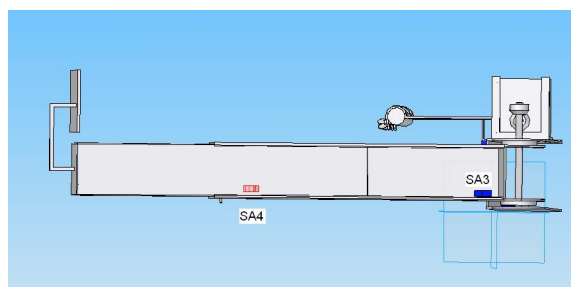


Figura 4-3: Posición prevista en el diseño para los sensores SA3 y SA4

Finalmente esta ha sido la ubicación de los detectores. Con los sensores SA1 y SA2 se puede conocer si el brazo se encuentra completamente recogido, en medio del giro o preparado para extenderse. Los sensores SA3 y SA4 indican si está extendido o no, o si está en un punto intermedio. Esta información llega al microprocesador mediante los pines de entrada del puerto P0. Se puede ver el detalle de a qué pin corresponden en la tabla 4, a continuación:

Señal del sensor	Pin del microprocesador
SA1	P0.0
SA2	P0.1
SA3	P0.2
SA4	P0.3

Tabla 4-1: Conexión de las señales de los sensores al microprocesador

La correcta ubicación de estos sensores provocó la dificultad para el montaje/desmontaje del conjunto, principalmente por los SA3 y SA4. Estos dos sensores son los que se encuentran en el interior de la pieza A, y dado que hay una pieza que presiona ambos sensores (se usa un mismo “tope” para activar ambos sensores, el ensamblado no resulta sencillo. Por este motivo, y de cara a la posible necesidad de realizar esta operación en un futuro es importante señalar los pasos a seguir para lograrlo:

- Sería posible retirar el bloque que presiona ambos sensores, que está pegado a uno de los laterales de la pieza. En este caso se podría desmontar fácilmente, pero implica despegar esta pieza y no es sencillo volver a situarla en su lugar original.
- La opción que se ha realizado durante las pruebas es desatornillar en primer lugar la parte que soporta los engranajes de transmisión, y una vez girada esta pieza en el interior, sacar la pieza A de la B deslizándola por su recorrido normal. Y realizar la operación contraria para montar el conjunto de nuevo.

Esta operación, una vez realizada por primera vez, resulta fácil de repetir. Y su complejidad no afecta a la sencillez de la que se ha pretendido dotar al prototipo a la hora de acoplarlo o retirarlo de la silla, debido a que esta operación sería necesaria únicamente para realizar modificaciones en el hardware, cosa que no resulta necesaria y que no hará cualquier persona.

5 CONTROLES

5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Para controlar el movimiento del brazo se pretendía usar un mando de control con dos botones que harían de “botón de avance” (un botón de color verde) y “botón de retroceso” (botón de color rojo), además de un interruptor para la desconexión del sistema.

El mando en el que irían los botones sería una caja de PVC que se instalaría en el espacio disponible entre el mando de dirección y el reposabrazos de la silla de ruedas de Clara mediante una tira de velcro, de forma que podría retirarse fácilmente en caso de necesidad (zona marcada con un círculo en la figura 5-1). Desde aquí iría el cableado a la placa de control.

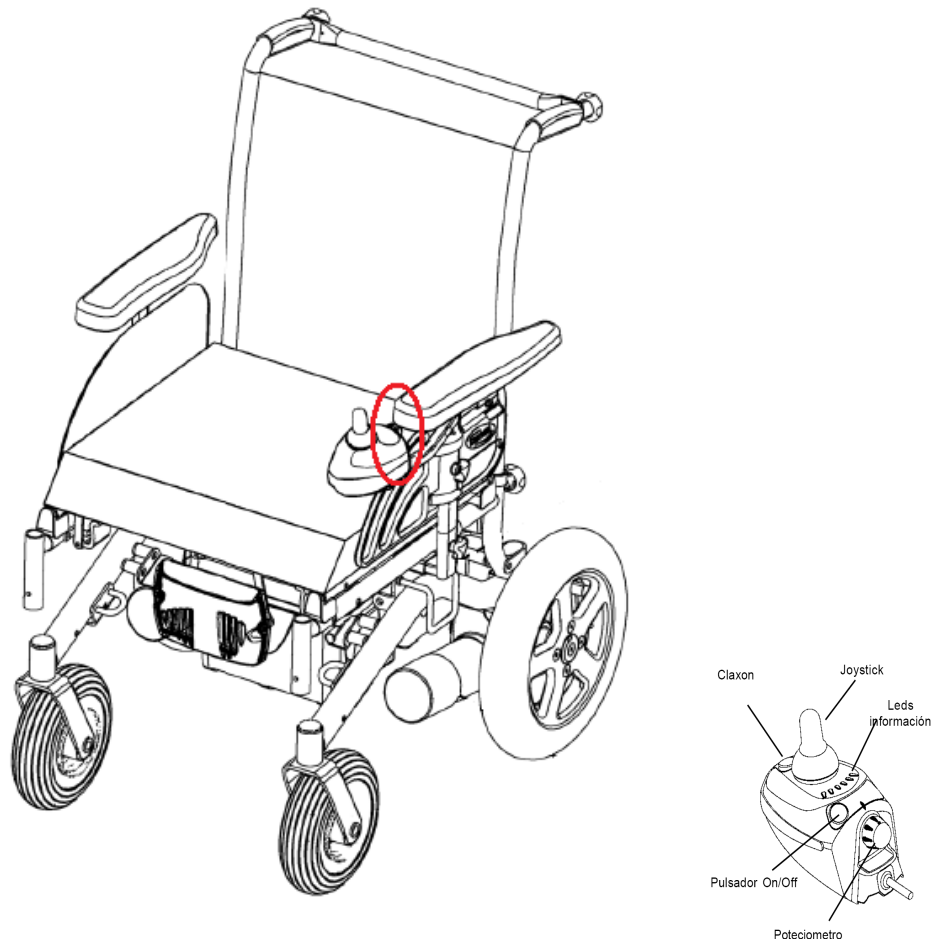


Figura 5-1: Dibujo de la silla de ruedas con posición del mando de control. Detalle: mando de dirección ya disponible en la silla de Clara

5.2 IMPLEMENTACIÓN FÍSICA

Acorde con el diseño, se utilizó una caja de PVC en color negro (del mismo color que la base del mando de dirección de la silla de ruedas de Clara, de forma que se acoplase siguiendo la estética), en la que se fijaron los botones y el interruptor. Se observa en la figura 5-2:



Figura 5-2: Cajero del mando de control

El lugar de la instalación final fue el previsto, en el espacio que hay disponible entre el mando de dirección de la silla y el reposabrazos de la misma.

Para la fijación finalmente se utilizaron las tiras de fijación Ultraresistentes “TackCeys” [16], que además de fijar el dispositivo de forma no permanente, suman el beneficio de que tiene ambas partes de plástico, por lo que no se adhiere a la ropa del usuario, en nuestro caso Clara, o a los tejidos de la silla de ruedas. De esta forma, se añade una ventaja más a este tipo de unión.

5.3 IMPLEMENTACIÓN HARDWARE

Siguiendo con las especificaciones del diseño, se adquirieron unos botones y un interruptor acorde con la elección de Clara.

Sin embargo el color de los botones no coincidió exactamente con lo previsto en un inicio. En lugar de usar un botón verde y uno rojo para indicar el avance o el retroceso respectivamente, se utilizó un botón rojo y uno negro. Este cambio se consultó con nuestra usuaria, Clara, así como a sus cuidadores, que dieron su aprobación, manteniendo el color rojo como botón de retroceso y el negro para el avance.

El motivo del cambio fue el hecho de poder comprobar físicamente que tuviera unas características que permitiesen ser fácilmente utilizables por cualquier usuario. Además, se consiguió hacer el dispositivo más universal, ya que los colores rojo y verde son los que se confunden más habitualmente por personas con daltonismo [17]. Se adquirieron directamente

en un establecimiento en lugar de hacerlo por catálogo, lo que redujo el campo de modelos disponibles.

El mando dispone así de dos botones (negro y rojo) de 18mm de diámetro, así como de un interruptor para la desconexión del dispositivo y de 20 mm de alto por 14 de ancho en color negro. En la figura 5-3 se puede ver el resultado final del mando, con el cajeadado con los botones usados. El botón de avance quedará en la parte más adelantada del mando (con respecto a la posición de Clara), y el de retroceso en la parte más cercana. El interruptor para la conexión/desconexión se encuentra más alejado, ya que dado que se dispone de la función de para de emergencia no es necesario tenerlo más a mano para detener el sistema, y será el botón menos utilizado, por lo que no es necesario tenerlo mas cerca que los demás.



Figura 5-3: Resultado final del mando de control

6 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO

6.1 IMPLEMENTACIÓN SOFTWARE

6.1.1 MICROCONTROLADOR

En el diseño, se partía de un programa relativamente sencillo, cuya función era, en definitiva, gestionar los datos de entrada y actuar sobre las salidas, sin necesidad de gestionar mucha información. Por este motivo se decidió utilizar un microcontrolador básico, y en este sentido se escogió el microcontrolador C8051F330 de Silicon Laboratories, con un núcleo de la familia 8051.

Durante la titulación se trabaja con este dispositivo en varias asignaturas como Sistemas Electrónicos Digitales II y Laboratorio de Electrónica Industrial, por lo que el conocimiento de este micro controlador permitiría reducir el tiempo necesario para familiarizarse con él. Además, el fabricante ofrecía un kit de programación (Toolstick), es decir, un accesorio que permitía programar el microprocesador conectándolo directamente mediante puerto USB, acelerando el proceso en gran medida.

Sus pines de entrada y salida se encontraban además fácilmente accesibles, por lo que resultaba muy cómodo hacer pruebas con el mismo. En la figura 6-1 se muestra la tarjeta F330, donde se integra el microprocesador C8051F330.

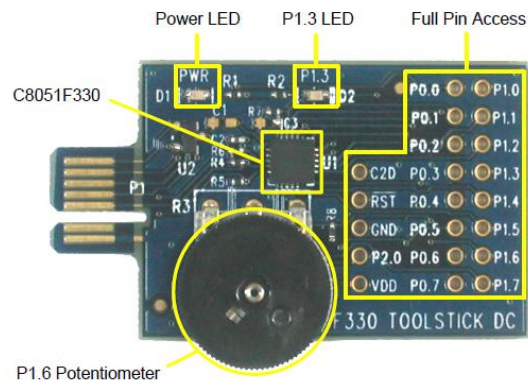


Figura 6-1: Microcontrolador 8051F330

La elección de nuestro microprocesador estaba restringida por la necesidad de poder analizar la señal de 8 entradas (2 para los botones de avance y retroceso, que funcionarían como “interrupciones”, más otras 6 para los sensores de posición y presencia) y disponer de 5 salidas (4 para activar los diferentes movimientos de los motores y otra para controlar los “topes”, que asegurarían que el sistema no cambiara de posición cuando no estuviesen en movimiento sus motores).

Este microprocesador cumplía con creces los requisitos de nuestro sistema, ya que tiene 17 I/O Digitales, 4 timers, un sensor de temperatura y un convertidor A/D, además de otra serie de características que pueden consultarse en el datasheet (ver anexos).

Finalmente se ha mantenido este microcontrolador, ya que el programa final y las necesidades finales del mismo no han variado demasiado. Y en todo caso, se han disminuido



las exigencias requeridas. En cualquier caso, el microcontrolador está sobredimensionado, permitiendo la adaptación en un futuro a las necesidades de la usuaria, que pueden variar a lo largo del tiempo.

El programa descargado en el 8051F330 se realizó en lenguaje C y el entorno de desarrollo utilizado para dicha programación fue el Silicon Laboratories IDE.

6.1.2 PLACA DE DESARROLLO

Desde un principio se pretendió incluir el microcontrolador dentro de una placa de desarrollo que haría funcionar el mismo, sumando otros componentes como un botón de reset para el micro, una etapa de potencia (puente H) que controla los motores, y los respectivos circuitos que hacían funcionar los mismos. Se añadieron también una serie de conectores que hacían más accesibles las entradas y salidas del microprocesador.

Se utilizó el programa de diseño electrónico OrCad, estudiado durante la carrera de Ingeniería Técnica Industrial en la asignatura de Diseño Electrónico Asistido por Ordenador, cursada durante el segundo curso, reduciendo así el tiempo necesario para hacer el diseño por haber tenido ya entrenamiento en la herramienta.

El diseño de partida (consultar el documento de diseño **[5]**), del que puede verse el primer nivel en la figura 6-2, se dividió en bloques de la siguiente forma:

- Circuito antirrebote avance.
- Circuito antirrebote retroceso.
- Regulador de tensión (3,3V)
- Regulador de tensión (10V)
- Etapa de potencia y controlador de motores.
- Microcontrolador 8051.



En el prototipo definitivo (el primer nivel puede observarse en la figura 6-3), el circuito general no ha cambiado demasiado. Se ha mantenido el diseño en bloques con los mismos subcircuitos, aunque ha habido algunos cambios en ellos como se describirá en detalle más adelante. El principal cambio que puede observarse es que se modificaron los conectores, utilizando ahora un conector para cables planos. Con esto quedó un mayor espacio disponible en la placa, pudiendo organizarse mejor los componentes en la misma.

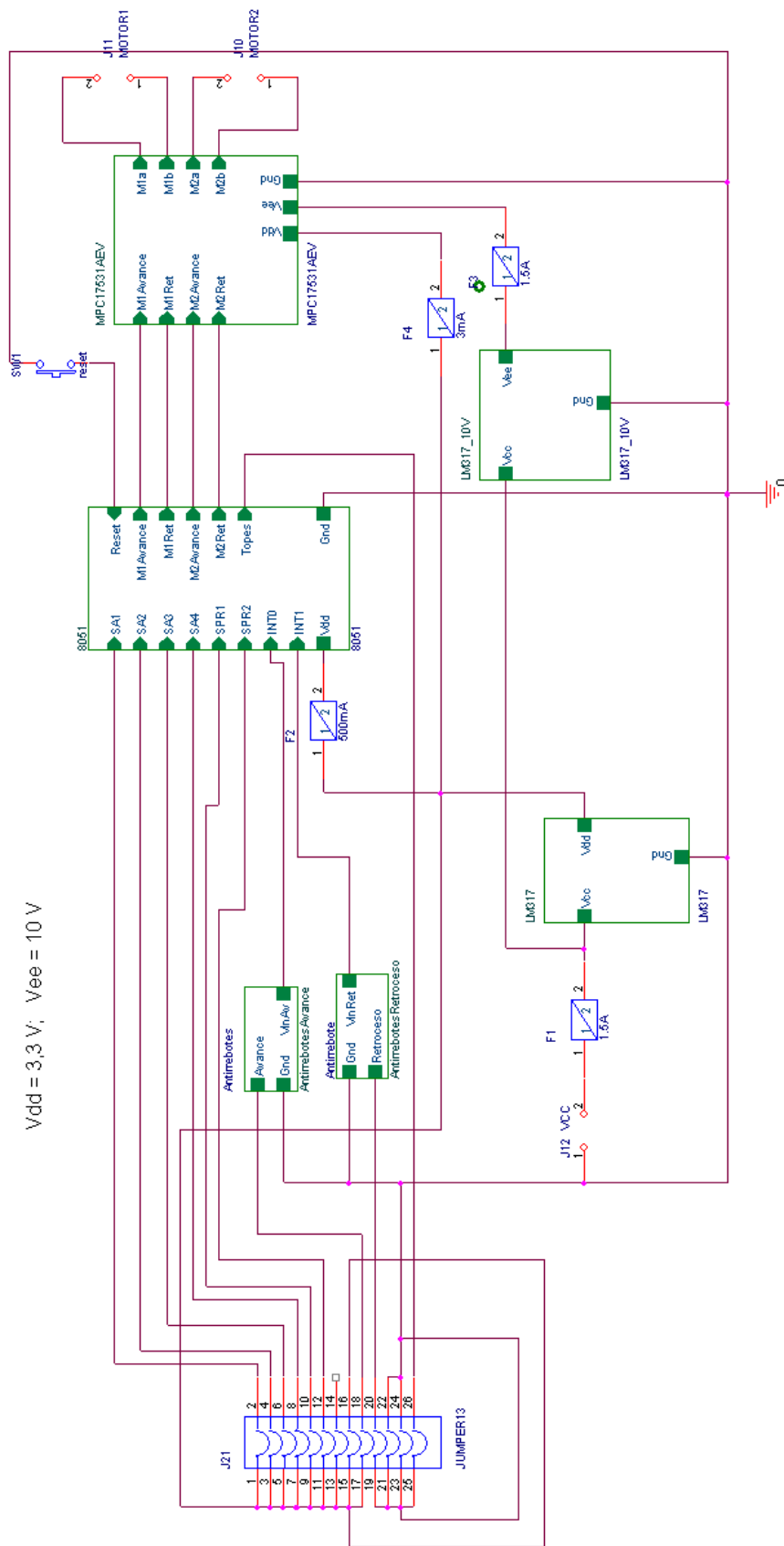


Figura 6-3: Circuito definitivo

Este tipo de conector para cable plano, usado en el prototipo final es el que se aprecia en la figura 6-4, que además suma la ventaja de la rápida sustitución, en caso de ser necesario, ya que no es necesario desconectar cada cable desatornillando como ocurría en el diseño inicial:

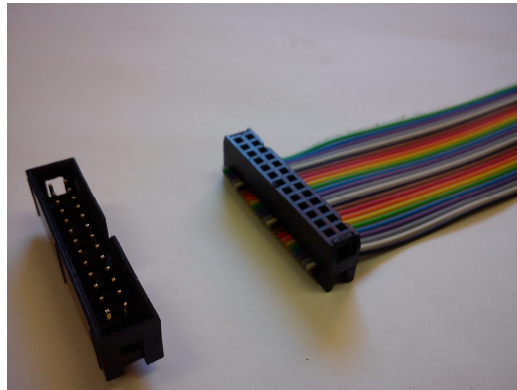


Figura 6-4: Conector de cable plano

A continuación se muestra un resumen de los pines disponibles en este conector (marcado como J21), y de los demás conectores, con una breve descripción de su misión dentro del circuito completo:

CONECTOR - PIN	TIPO	MISIÓN	NOMBRE
Conector J21. Pin 2, Pin 4, Pin 6, Pin 8, Pin 10 y Pin 12	Sensores de posición	Cada uno de esos pines “informan” al micro controlador del estado del sensor de posición o de presencia al que van conectados (como se explicará después, los pines de los sensores de presencia se han anulado por hardware)	SA1, SA2, SA3, SA4, SPR1 y SPR2
Conector J21. Pin 1, Pin 3, Pin 5, Pin 7, Pin 9 y Pin 11	Alimentación de los sensores.	Son los pines que proporcionan la alimentación a los sensores de presencia y posición (estos últimos finalmente no utilizados).	V_{SA1} , V_{SA2} , V_{SA3} , V_{SA4} , V_{SPR1} y V_{SPR2}
Conector J12	Alimentación del sistema.	Conector que alimenta a todo el sistema al unirse directamente con la batería de la silla de ruedas.	Vcc
Conectores J10 u J11	Alimentación de los motores.	Estos conectores son los que alimentan los motores de corriente continua. Envían esta alimentación desde la etapa de potencia del MPC17531AEV.	Motor 2 y Motor 1

Tabla 6-1: Descripción de los conectores del circuito

Si se observa de nuevo el esquemático del primer nivel del circuito, se ve otro interruptor. Éste se integra en la misma placa y se trata del botón de Reset del microcontrolador SW1.

Para asegurar que el microprocesador recibe debidamente las señales de los sensores de presencia (SPR1 y SPR2) se ha diseñado una placa intermedia, cuyo objetivo es enviar un pulso legible para el microprocesador.

La función de esta placa es, principalmente, acondicionar la señal que se recibe del sensor de presencia y compararlo con un valor variable de tensión (regulable mediante una resistencia variable o potenciómetro). De esta forma, cuando se detectase la presencia de cualquier objeto a una distancia X, que podría variar en función de esa tensión de referencia, se activaría una señal que recibirá el microprocesador.

Para diseñar esta placa se ha utilizado, al igual que para la primera, el programa de diseño Orcad. En las siguientes imágenes puede verse el diseño (figura 6-5) y el resultado real (figura 6-6) de la placa de la que se habla:

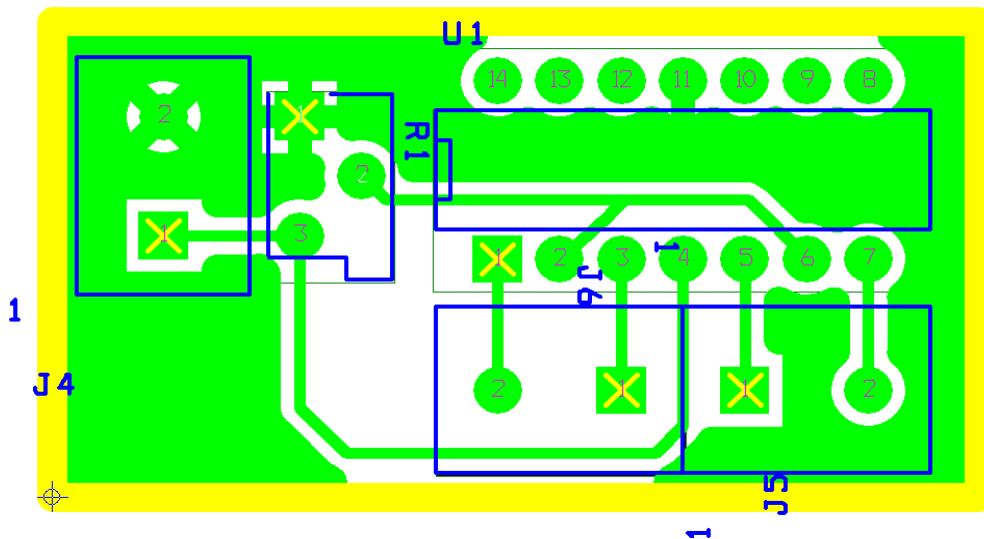


Figura 6-5: Diseño de la placa de control de sensores de posición

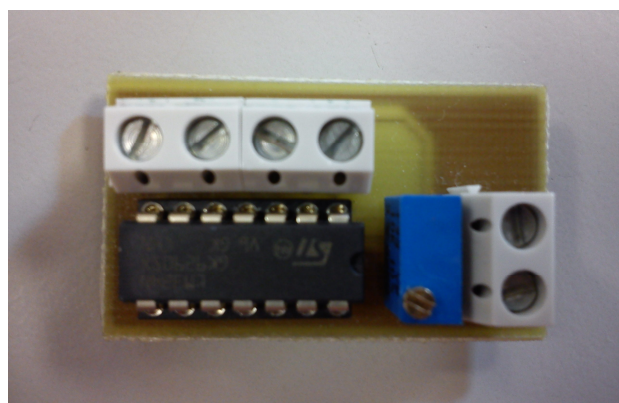


Figura 6-6: Placa de control de sensores de posición

Sin embargo, esta función no se ha utilizado en el prototipo final, debido a que se hicieron pruebas y provocaba problemas al detectar a la persona que se encuentra en la silla y paraba el movimiento del sistema de forma innecesaria.

Esto podría haberse solucionado, por ejemplo, con un sensor que detectase a una distancia mucho menor, con otro tipo de sensor cuyo ángulo de detección inferior (más dirigido hacia el frente, donde no pueda detectar la presencia del usuario de la silla de ruedas), mejorando la ubicación de los sensores... Sin embargo, se ha decidido que no era relevante el uso de estos sensores, ya que la velocidad del brazo es bastante lenta y permite un margen de reacción.

De cualquier modo, ya que se trata de un diseño para todos, adaptable a cualquier usuario, se ha mantenido el hardware necesario para su uso, aunque inhabilitado (cortocircuitándolo a "tierra") para que no produzca errores al ejecutarse el software. También podría haberse modificado el código del programa, pero esto requiere una serie de herramientas y conocimientos que puede no poseer una futura persona que quiera modificarlo, como podrían ser los monitores del centro en el que se encuentra Clara y con los que se ha trabajado a lo largo del proyecto.

A continuación se hará una descripción más detallada de los bloques o subcircuitos que componen el diseño y que se han citado anteriormente:

- **Circuitos antirrebotes**

Los circuitos antirrebotes son circuitos que corrigen el funcionamiento de los pulsadores que envían la información de "avanzar" y "retroceder" a nuestro sistema. Logran que la información llegue al microcontrolador de forma que éste pueda interpretarla correctamente, como un único pulso en lugar de varios.

Evitan, como su propio nombre indica, los rebotes producidos por la señal analógica de la pulsación del botón, y que puede observarse en la figura 6-7. Aquí se observa la señal analógica como la produciría "el botón", con una serie de sobreoscilaciones que de no ser tratadas, el microcontrolador interpreta como una serie de pulsos.

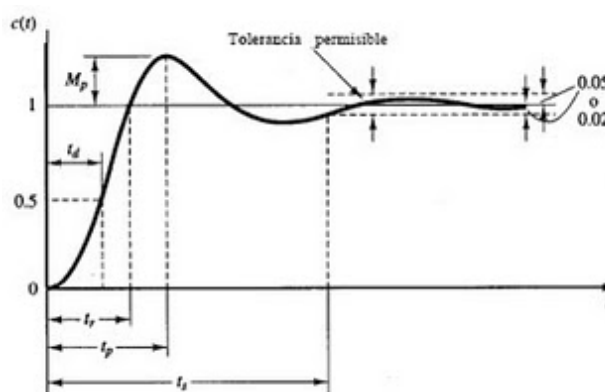


Figura 6-7: Entrada tipo escalón unitario

Se ha mantenido el circuito previsto en el diseño, en el que había dos resistencias de 5,6KOhm y un condensador de 100nF según los cálculos realizados, quedando como se observa en la figura 6-8:

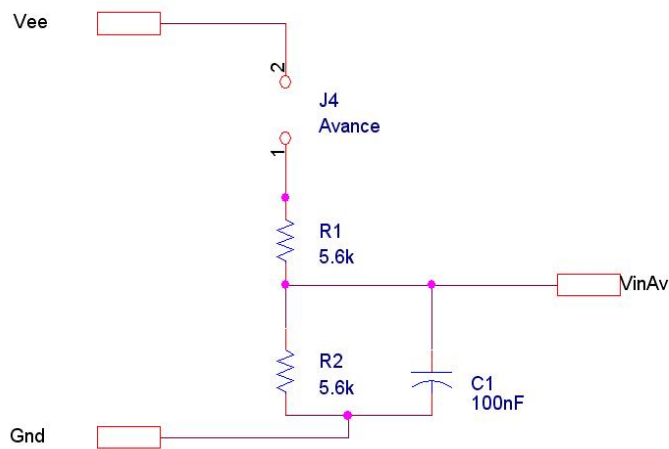


Figura 6-8: Circuito antirrebote Avance

La entrada de estos circuitos antirrebote son los propios pulsadores con los que Clara o sus cuidadores pueden activar los movimientos, que llegan a la placa a través del conector de cable plano, y una vez tratada la señal, se comunican con el microprocesador mediante los pines P0.6 y P0.7 (avance y retroceso respectivamente). Se alimentan a una tensión de 3.3 V, también a través del conector para cable plano.

- **Circuitos reguladores de tensión:**

Estos circuitos se encargan de estabilizar la tensión que proporciona la batería de 12 voltios a las tensiones de alimentación necesarias para cada componente o subcircuito.

En el diseño inicial se previó la necesidad de ajustar dos tensiones diferentes en función de las necesidades de los componentes. Por una parte se necesitaba alimentar tanto el microprocesador como el controlador de motores MPC17531 a 3.3 voltios, pudiendo aprovechar este mismo voltaje para los controladores que interactúan con el micro, y por otro, alimentar a 10 voltios los motores.

Se decidió implementar estos circuitos basándose en el integrado LM317 (componente con el que se trabajó en varias ocasiones a lo largo de la carrera), que permite regular la tensión deseada a través de un potenciómetro (resistencia variable), y que daría la oportunidad de variar en un futuro la velocidad del sistema a gusto de Clara o de cualquier usuario que pudiera utilizarlo, sin necesidad de modificar el software, al variar esos 10 voltios de tensión. Para ello, sólo habría que variar el valor de la resistencia variable haciendo girar la rosca que posee la misma mediante un destornillador plano (Ver figura 6-9).

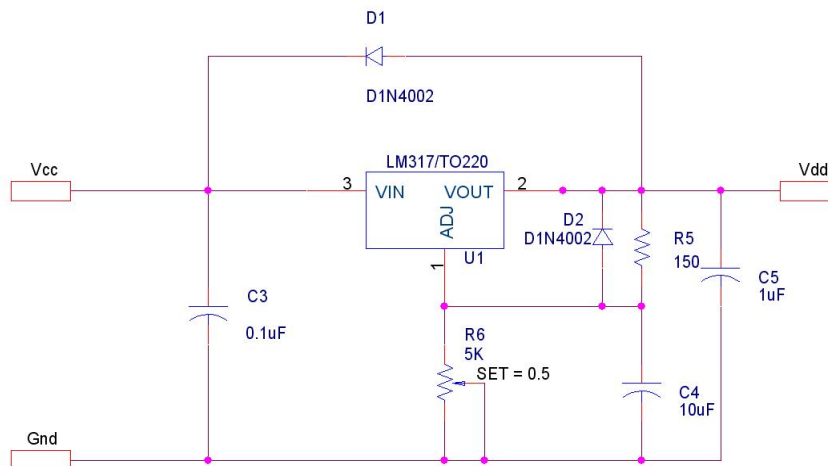


Figura 6-9: Circuito regulador de tensión

Se ha mantenido en el prototipo final el circuito previsto. Sin embargo, en cuanto al LM317 para el caso del circuito regulador de tensión a 3.3V, ha sido necesario instalarle un disipador de calor (figura 6-10), ya que al disminuir la tensión de entrada (12 voltios) hasta 3.3 voltios, aumenta la corriente que circula por el mismo, y aumenta por lo tanto la temperatura del componente. Ésta situación produjo, a lo largo de las pruebas realizadas, que el componente dejara de funcionar debido a la protección contra sobrecorrientes y excesos de temperatura de que dispone, que inhabilitan al mismo en lugar de poner en riesgo otros componentes.

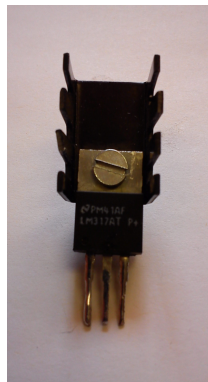


Figura 6-10: Regulador LM917 con disipador de calor

- ***Etapas de potencia y controlador motores:***

El circuito de control de los motores diseñado comprendía la utilización del controlador MPC17531AEV (Figura 6-11), un "Puente H" integrado que facilitaba la gestión de los movimientos de los motores mediante entradas digitales, con lo que se facilitaba la comunicación directa con el microcontrolador.



Figura 6-11: Encapsulado del MPC17531AEV

Este integrado aportaba, además, la ventaja de separar físicamente la lógica de control y la etapa de potencia (puente H) que alimentaba los motores, aislando la corriente demandada por los motores de la parte lógica del circuito, y por tanto, del microprocesador con el que se comunica. Con el MPC se podía llegar a suministrar hasta 10 Voltios y 0'7 Amperios de corriente, suficiente para mover los motores, y que sin embargo no puede ofrecer el microprocesador. Este último no puede suministrar más de 3.5V por sus pines.

Se puede ver un esquema del circuito interno del componente en la figura 6-12. En ella se observa la etapa de control lógico, alimentada a 3.3 voltios (VDD), que recibe por las entradas IN1A, IN1B, IN2A e IN2B los pulsos del microprocesador indicando el motor que debe mover. Y por otro lado está la etapa de potencia, aislada de la anterior y que se alimenta a 10 voltios (VM1 y VM2), y que envía a los motores la señal necesaria en función de la información enviada por la lógica de control.

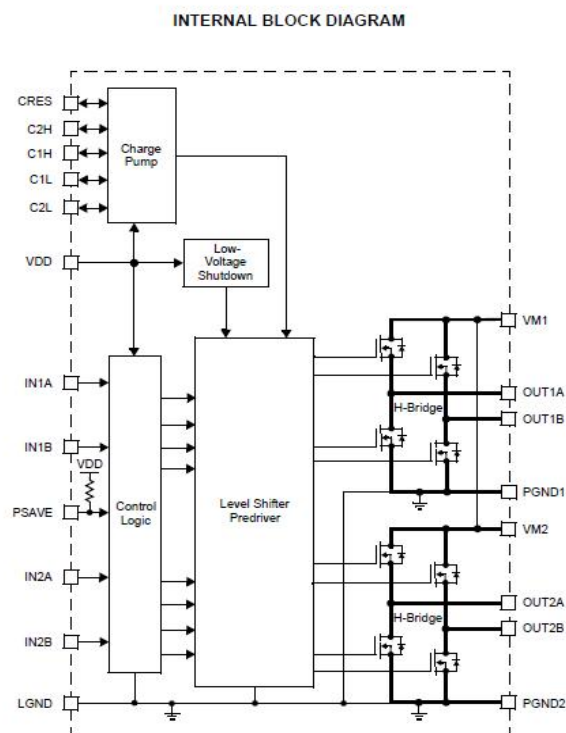


Figura 6-12: Diagrama de bloques interno

Éste ha sido el dispositivo utilizado finalmente para manejar el movimiento de nuestros motores. El integrado MPC17531AEV permite activar cada motor en ambos sentidos en función de una entrada digital recibida directamente del microprocesador. Puede verse un esquema que detalla este funcionamiento en la figura 6-13, en la que se observa cómo el micro envía al MPC17531AEV la información, mediante 4 bits, de qué motor mover y en qué sentido, y éste envía la señal a los motores ya con la potencia que éstos necesitan. Para ello, mediante la etapa de potencia, se varía la polaridad de la tensión en los pines de los motores, haciendo girar al motor en un sentido u otro.

Cuando se activa la entrada IN1A (conectada al puerto P1.2 del microprocesador), el motor 1 gira de forma que el sistema realiza el movimiento de avance, y con la entrada IN2A (conectada al puerto P1.0) se realiza el movimiento de extensión del brazo (motor 2). Las entradas IN1B e IN2B activan los movimientos contrarios para los motores 1 y 2 respectivamente.

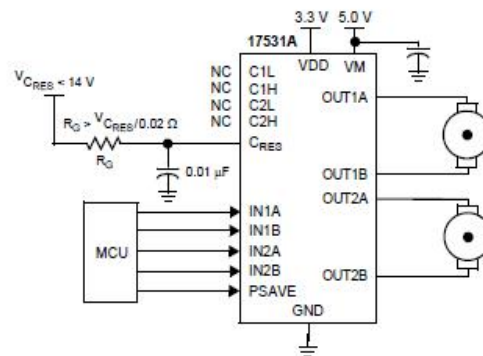


Figura 6-13: Esquema del sistema en el que se integra el MPC7531AEV

Para asegurar el correcto funcionamiento del MPC17531AEV, se ha utilizado el circuito de la figura 6-14, donde pueden observarse, por ejemplo, los condensadores C11 y C12, necesarios la bomba de carga interna (que almacena la energía de forma que en todo momento se proporcione la tensión necesaria a la electrónica del integrado) y o los filtros de tensión que estabilizan la tensión de alimentación de los motores (VM1 y VM2):

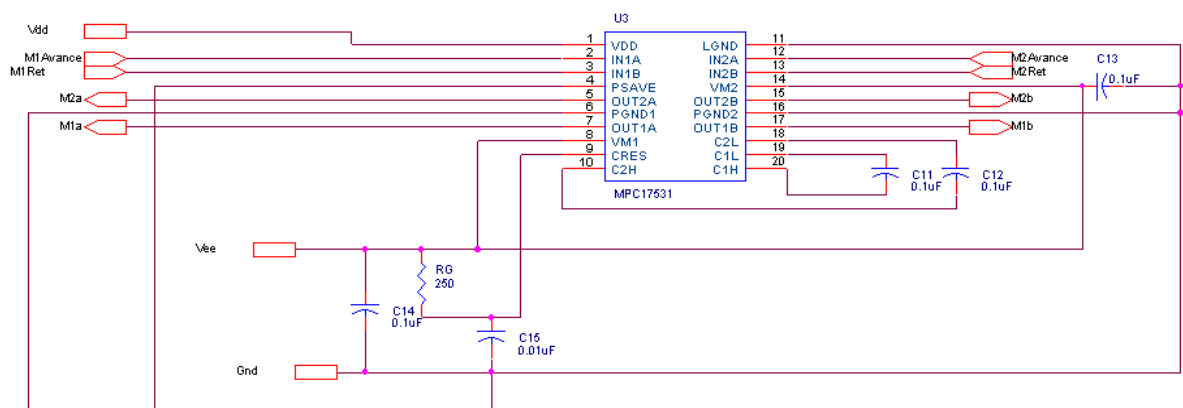


Figura 6-14: Circuito del controlador de motores MPC17531AEV

Para más características técnicas del MPC17531AEV, puede consultarse la hoja de características en el anexo del documento.

- **Circuito del 8051:**

Este circuito únicamente comprendía la huella de la placa del 8051 de la que se disponía, y las conexiones con los nodos correspondientes en el circuito total. El diseño se ha mantenido en la placa del prototipo final (Ver figura 6-15)

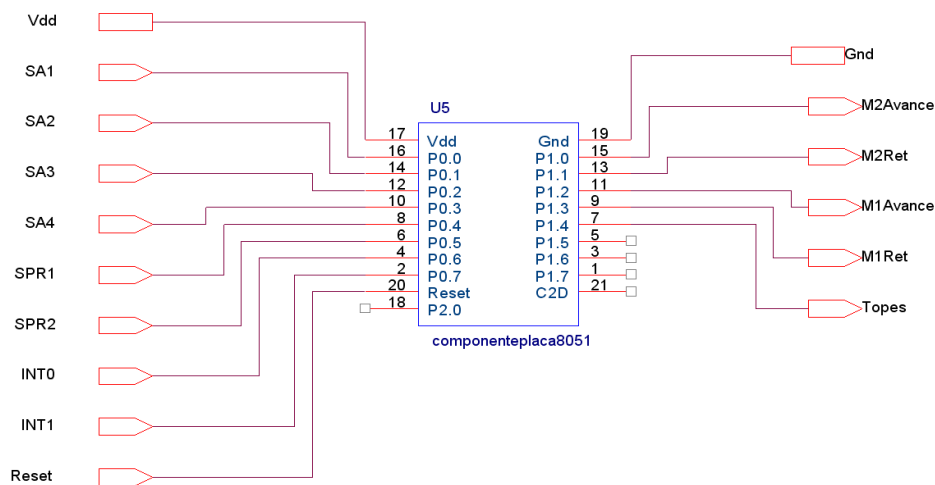


Figura 6-15: Circuito del microprocesador C8051F330

- **Hardware definitivo:**

Como resumen de todo lo que se ha ido detallando, las modificaciones realizadas con respecto a la placa diseñada en inicio son el cambio de los pines de conexión con los sensores y por lo tanto, el mejor aprovechamiento del espacio disponible. Esto último facilitó el proceso de soldado de los componentes a la placa, ya que se lograba tener los componentes más distanciados unos de otros.

En la imagen 6-16 se muestra el resultado final de la placa diseñada con el programa Orcad, en la que las áreas en color rojo marcan la capa BOTTOM, en la que se han intentado mantener la mayoría de pistas y la capa de cobre (unida al nodo de masa), mientras que las líneas amarillas indican las pistas de la capa TOP. Este diseño facilita el emplazamiento de componentes en la capa TOP, ya que se ha tenido cuidado de que las únicas pistas que se disponen en esta capa sean fácilmente accesibles a la hora del soldado.

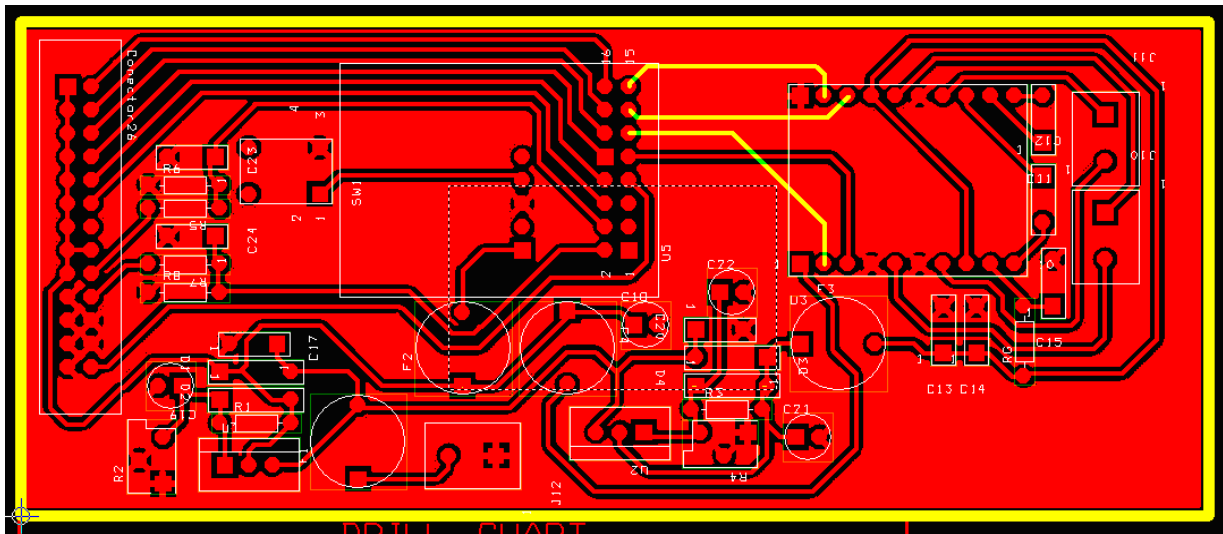


Figura 6-16: Diseño de la placa hardware definitiva

Y para terminar, en la imagen 6-17 se aprecia el resultado final de la placa real, una vez diseñada, fabricada en la Universidad por los Técnicos de Laboratorio del Departamento de Tecnología Electrónica, y soldada:

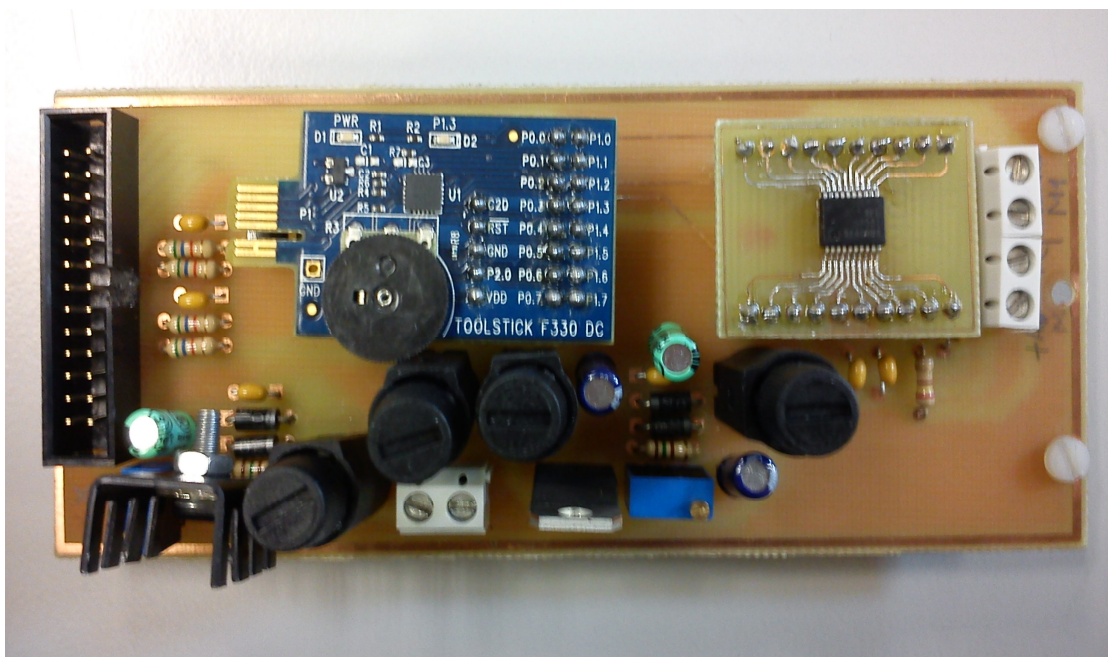


Figura 6-17: Placa hardware definitiva

6.2 ALIMENTACIÓN DEL HARDWARE

6.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El dispositivo pretendía unirse a la alimentación propia de la silla de ruedas, en la que se encontraban dos baterías de 12 Voltios conectadas en serie. Esta conexión se haría mediante dos clavijas que se unen a los cables de alimentación, los cuales, a su vez, se conectarían a la placa hardware.

Las baterías usadas finalmente son las de la silla de ruedas de Clara, modelo M40 SLD G, que proporcionan la alimentación que se necesitaba sin afectar al funcionamiento general de la silla. Proporcionan 40Ah y el consumo de los motores no llega a 200mA (con picos de corriente máximos de 500mA), y según las mediciones realizadas durante las pruebas, tarda unos 20 segundos en realizar un movimiento completo (desde la parte trasera de la silla hasta la situación del móvil en el punto correcto y viceversa).

En este sentido, se puede calcular el tiempo que debería estar funcionando el dispositivo y realizando un movimiento continuo para descargar las baterías. En la siguiente ecuación, en la que "Td" refleja el tiempo que tardaría en descargarse la batería, "Cbat" la carga que dispone la batería (40Ah) y "Cdisp" el consumo del dispositivo (0,2 A como dato máximo), obtenemos el tiempo disponible:

$$T_d = C_{bat} / C_{disp} = 40Ah / 0,2 A = 200h$$

Como acabamos de comprobar, sería necesario que el dispositivo estuviese realizando un movimiento de motores continuo durante al menos 200 horas (más de 8 días) para desgastar las baterías. Y dado que esto no va a ser así, sino que puede estimarse que se realizarán alrededor de 20 movimientos al día (10 para situar el brazo en la en el frente y otros 10 para retirarlo a la parte trasera de la silla), si lo multiplicamos por los 20 segundos que tarda en completarse un movimiento, supondría 400 segundos. Y por lo tanto este consumo se considera despreciable.

Para proteger la placa de sobrecorrientes se decidió instalar fusibles tanto a la entrada del circuito como para proteger el componente de la etapa de potencia y el microcontrolador.

6.2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL CONEXIONADO DE ALIMENTACIÓN

A la hora de implementar el diseño inicial se hicieron una serie de pruebas con las baterías de la silla de ruedas de Clara. Se hicieron mediciones que indicaban que las baterías ofrecen 12.6 Voltios de continua. Se comprobó además el correcto funcionamiento de la placa hardware. A continuación, en la figura 6-18 se muestra una imagen tomada durante estas pruebas:

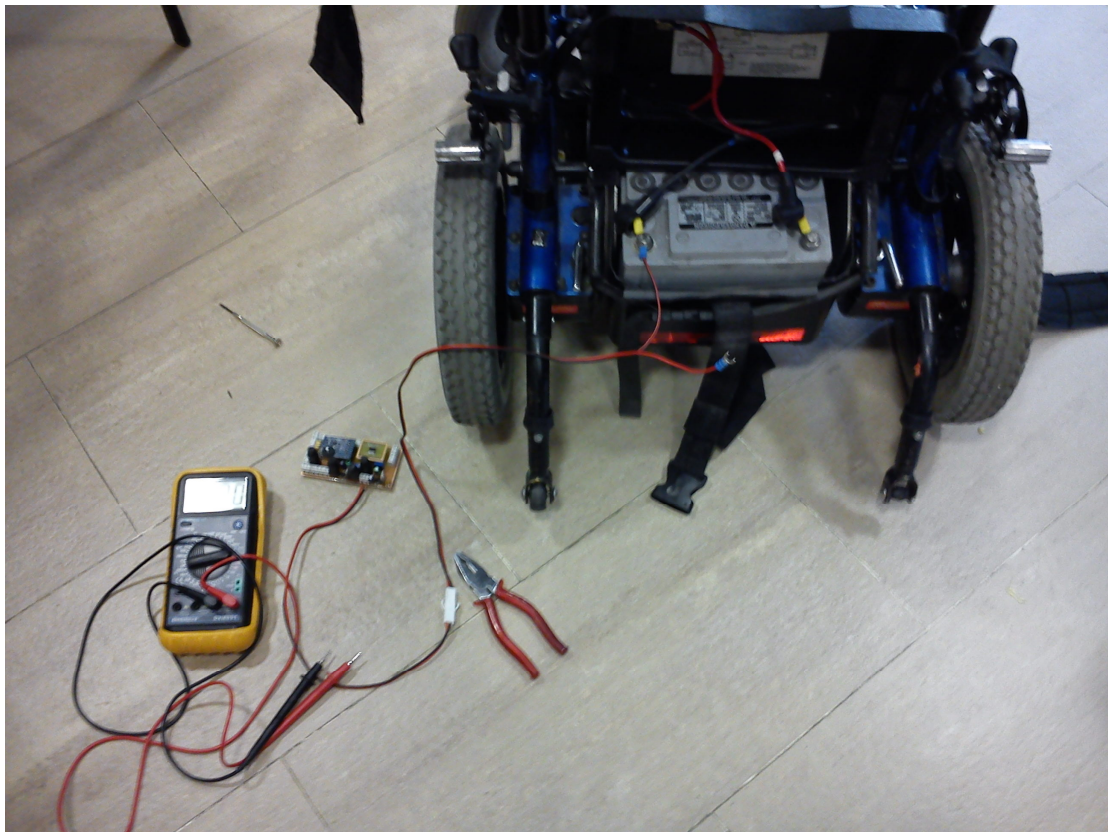


Figura 6-18: Fotografía de las pruebas de hardware y software con la silla de ruedas

Con esta información se adaptó el circuito en consecuencia, ajustando el valor de los reguladores de tensión disponibles en la placa.

Para la conexión de la placa hardware con las baterías de la silla de ruedas se han utilizado dos cables de 2mm de diámetro (más gruesos que el resto de cableado, ya que por ellos circulará la corriente máxima que demande el circuito) en colores rojo y negro, para la tensión positiva y negativa respectivamente. Éstos se unen a la placa mediante un terminal de conexión por tornillo de paso con dos pines. En la figura 6-19 se ve una imagen del conector usado:

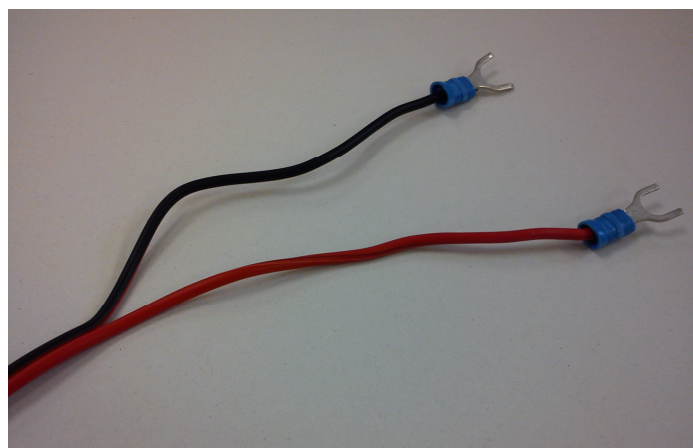


Figura 6-19: Conectores de los cables a la silla de ruedas

Para conectar estos cables a las placas de la silla de ruedas de Clara se unieron éstos a dos clavijas (figura 6-20) que se unen directamente a los bornes de una de las baterías, con lo que se logró un tipo de conexión sencilla y eficaz que permite desconectar totalmente el dispositivo si es preciso.

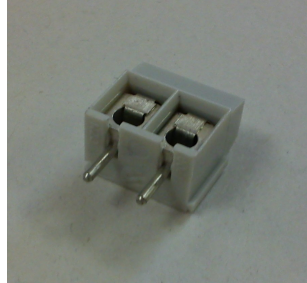


Figura 6-20: Conector de cables con fijación por tornillo

Sin embargo, y para evitar la necesidad de usar herramienta para aflojar las conexiones de los bornes de la batería y poder retirar el brazo de forma temporal, se ha instalado en el cableado de alimentación un enchufe que permite conectar y desconectar el sistema rápidamente. Este enchufe es el que se observa en la figura 6-21:

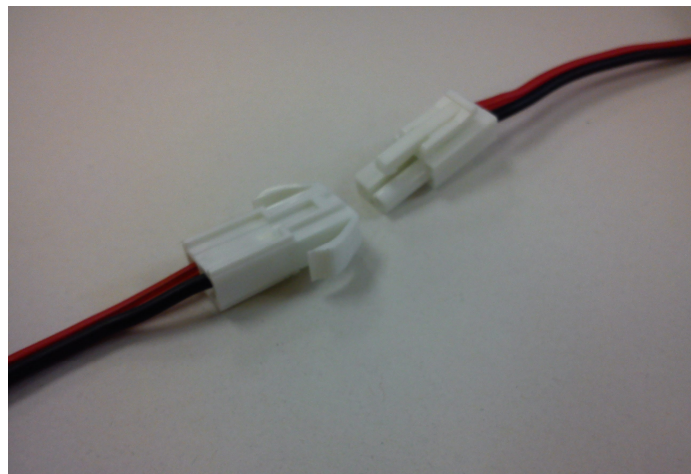


Figura 6-21: Enchufe en los cables de alimentación

6.2.2.1 PROTECCIONES:

Como se previó en el diseño, se han utilizado fusibles de protección para sobrecorrientes en el circuito hardware. Éstos se han acoplado a la placa mediante portafusibles verticales como el que se puede ver en la figura 6-22 junto a dos de los fusibles que se acoplan a los mismos:

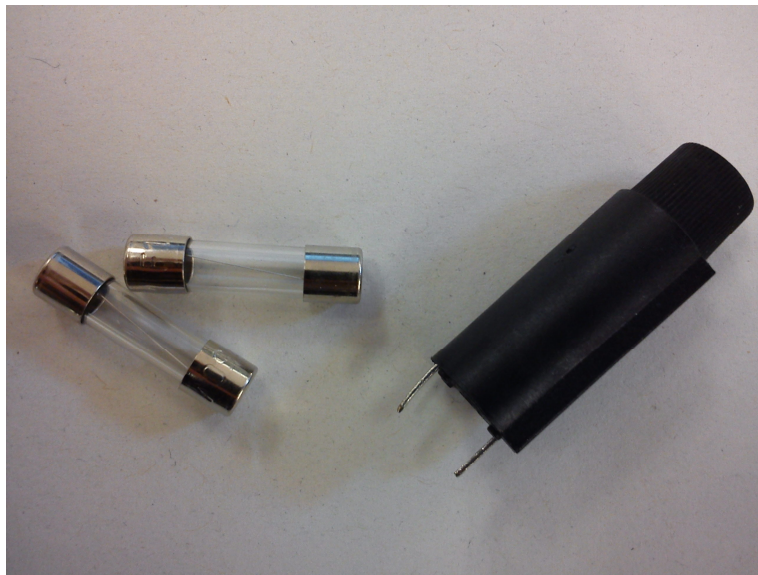


Figura 6-22: Fusibles y portafusible usados

Se han instalado un total de 3 fusibles para proteger por una parte la entrada (fusible F1, acorde con la nomenclatura usada en el documento de diseño), por otra el microprocesador y la lógica del MPC17531AEV (F2), y por otra la etapa de potencia (puente H) de este último (F3).

De esta forma, y respetando los valores máximos de corriente que soportan los componentes usados (según la información disponible en las hojas de características de los mismos), hay tres fusibles diferentes con los siguientes valores:

FUSIBLE	VALOR [Amperios]
F1	1,5
F2	0'5
F3	1

Tabla 6-2: Descripción de los fusibles del circuito

6.2.2.2 REGULACIÓN DE TENSIÓN

Como ya se ha contado anteriormente, el diseño preveía la necesidad de dos reguladores de tensión para convertir los 12 Voltios que alimentarían todo el sistema.

Se ha contado recientemente que se hicieron una serie de pruebas con las baterías reales de la silla de ruedas de nuestra usuaria, Clara. En función de los datos obtenidos, se modificaron los valores de las resistencias variables de los reguladores de tensión que se explican en el punto 4.1.2. del capítulo 4 de este documento.

Del mismo modo que se ha procedido en este caso se podría haber hecho fácilmente para cualquier otro usuario. Gracias a este tipo de reguladores no es necesario que las baterías de la silla de ruedas sean de 12 Voltios, ya que puede ajustarse el valor que deben entregar a los distintos elementos electrónicos de forma sencilla variando el valor de las resistencias variables, de forma que aunque varíe la tensión de alimentación se entreguen 3.3 voltios al

microprocesador y la lógica de MPC17531AEV, y 10 voltios a la etapa de potencia de este último.

Para más información, se anexan al documento la tabla de características de las baterías de la silla de ruedas (modelo M40 SLD G).

6.3 IMPLEMENTACIÓN SOFTWARE

Como ya se ha contado anteriormente, el software destinado a controlar los movimientos del sistema ha sido programado en lenguaje C, utilizando la herramienta Silicon Laboratories IDE que proporciona el fabricante del microcontrolador.

Para el diseño se hizo un diagrama de flujos con el que visualizar claramente el desarrollo del programa:

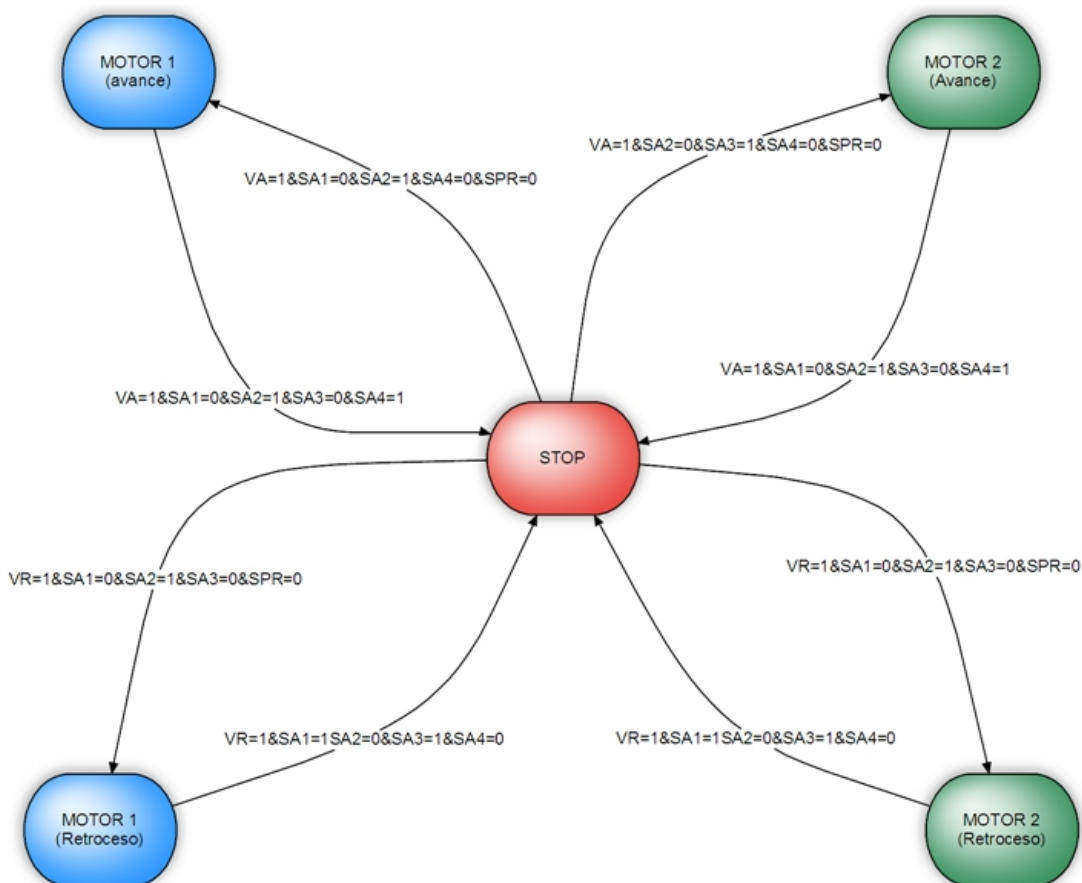


Figura 6-23: Diagrama de estados del software

Como se aprecia en el diagrama (Figura 6-23), el programa debía ejecutar cinco estados en función de de las señales de los pulsadores y del estado de los sensores: un estado de reposo y otros cuatro para mover los dos motores en ambos sentidos. Estas señales son las

que se muestran en el diagrama como condiciones para el paso de estado, donde VA y VR son dos variables que se activan con la pulsación de los botones, para el movimiento de avance y de retroceso respectivamente. Las señales SA1 a SA4 se refieren al valor de los sensores de posición, y SPR es la señal que se activa con los sensores de presencia (que se debe recordar que se mantienen en un “0” lógico mediante el hardware), entendiéndose que cuando su valor es “1” es porque se encuentran a nivel alto de tensión (en su caso 3.3 voltios), y cuando valen “0” es porque se encuentran cortocircuitadas a tierra (para las señales VA y VR se les da ese valor por programa al pulsar los botones, con un pulso en los mismos).

En la figura 6-24 se observa el diagrama de flujo del diseño de partida de la función main(); de la función PWM y de una de las funciones secundarias del programa, extraídos del documento de diseño del proyecto [5]:

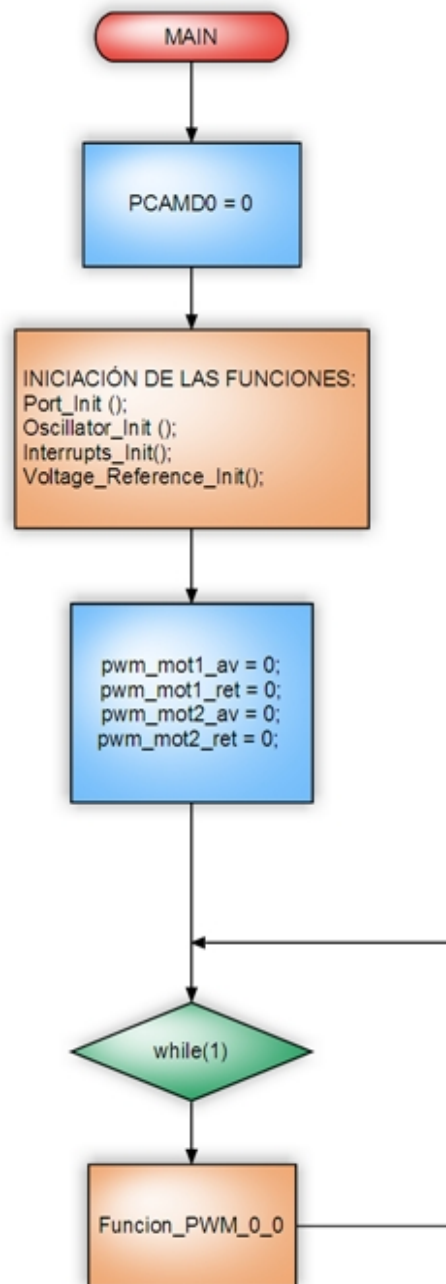


Figura 6-24: Diagrama de bloques de la función Main del diseño inicial



El objetivo de esta función principal era la de inicializar el programa, llamando a las subrutinas encargadas de configurar el microprocesador, y mantener el software en un estado permanente de lectura de los valores tanto de los sensores como de los pulsadores, mediante la función “while(1)”, que ejecuta un bucle infinito.

Una vez en ese bucle, y cuando se dieran las condiciones adecuadas, la ejecución entraría en la función PWM, en la que se activaría el motor adecuado y en la dirección precisa mediante una salida con señal PWM de ciclo de trabajo del 50%, como se ve en la imagen del diagrama de estados de esta función (Figura 6-25) para los casos en que se deben activar el motor 1 o motor 2 para el avance del brazo:

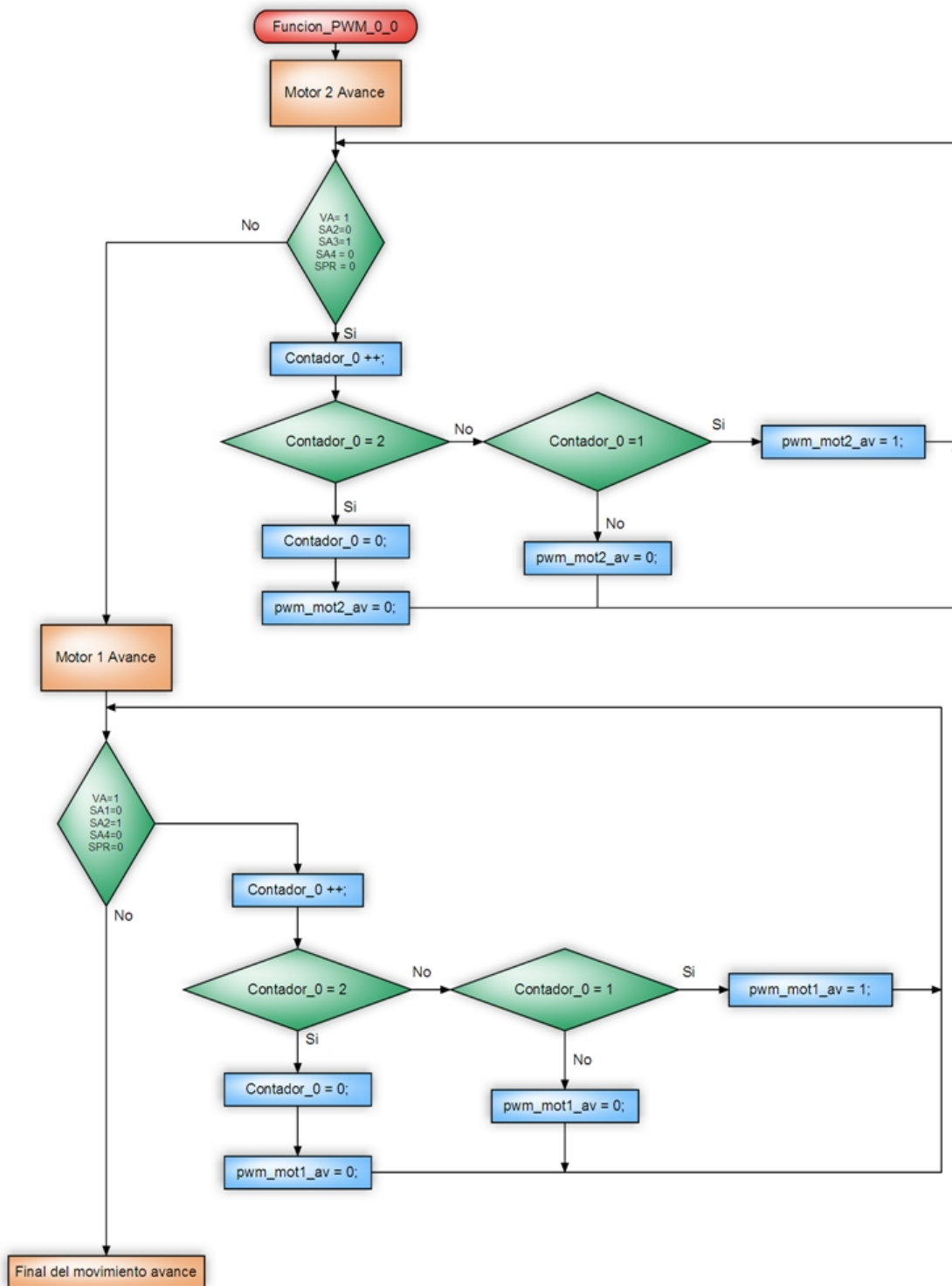


Figura 6-25: Diagrama de bloques de la función PWM del diseño inicial

El software final ha necesitado algunas modificaciones aunque se basa fundamentalmente en el diagrama de flujos que se ha podido ver anteriormente (Figura 6-23), ya que el objetivo del programa se ha mantenido. Se mantiene además la configuración necesaria para el correcto funcionamiento en nuestra aplicación.



Se pensó en hacer una serie de cambios para conseguir que, al arrancar o aproximarse al punto de parada la velocidad fuese variando de forma progresiva. Esto se lograría haciendo un simple cálculo, ya que se disponía del tiempo total que tarda el brazo en llegar a estos puntos. Y otra opción podría haber sido situar los sensores de posición en otro lugar que avisase de que “iba a llegar al final”, y por lo tanto reducir la velocidad de giro del motor antes de que tuviese que parar. Para el arranque de los motores se haría directamente, sin necesidad de cálculos.

Sin embargo, al usar señales de “parada de emergencia” esta funcionalidad perdía su sentido, ya que precisamente sería necesaria una parada brusca. Se comprobó además que debido a la baja velocidad que proporcionaban los motores, la reacción ante la señal de parada era prácticamente inmediata pero suave, y no merecía la pena regular la velocidad de este modo ya que haría del brazo un conjunto demasiado lento y sólo sería aplicable en el arranque y la parada final. Se hicieron pruebas, y se pudo comprobar que el tiempo que el sistema tarda en reaccionar para detener los motores una vez leídos los datos de los sensores no dañaba al conjunto.

Durante las pruebas en el laboratorio se vio además que el uso de señales PWM para el control de los motores era innecesario. Se pudo verificar que la intención principal de controlar la velocidad de los motores en función del ciclo de trabajo de las señales PWM podía realizarse por un ajuste de la tensión aplicada a los motores mediante el hardware disponible en el circuito, modificando el valor una resistencia variable (como ya se ha explicado en el capítulo anterior). De este modo, la salida por la que se enviaría la señal PWM podía simplificarse y enviar una señal por nivel. Así, como ya se ha comentado antes, facilitaría la adaptabilidad de esa velocidad de forma más sencilla para un futuro, convirtiéndolo en un diseño más universal.

A continuación, en la figura 6-26, se observa el diagrama de bloques de la función principal del software definitivo para el movimiento de avance, en el que se mantiene la nomenclatura y los valores para las variables (VR, VA, SA1, SA2...) utilizada en el diagrama de estados que se ha estudiado anteriormente.

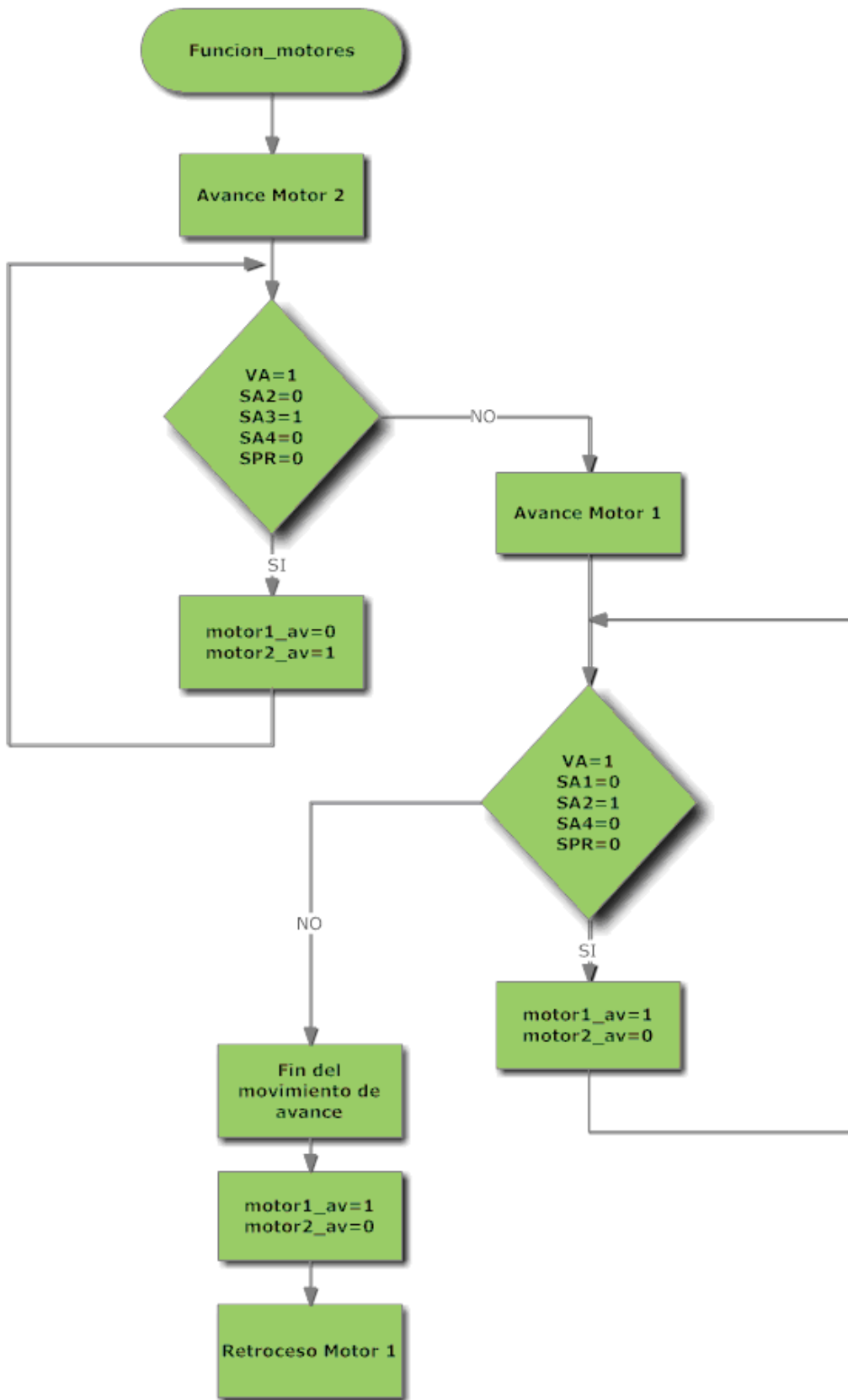


Figura 6-26: Diagrama de estados de la función de control de movimiento (avance)

Y a continuación, se muestra el diagrama de estados para el movimiento de retroceso (figura 6-27).

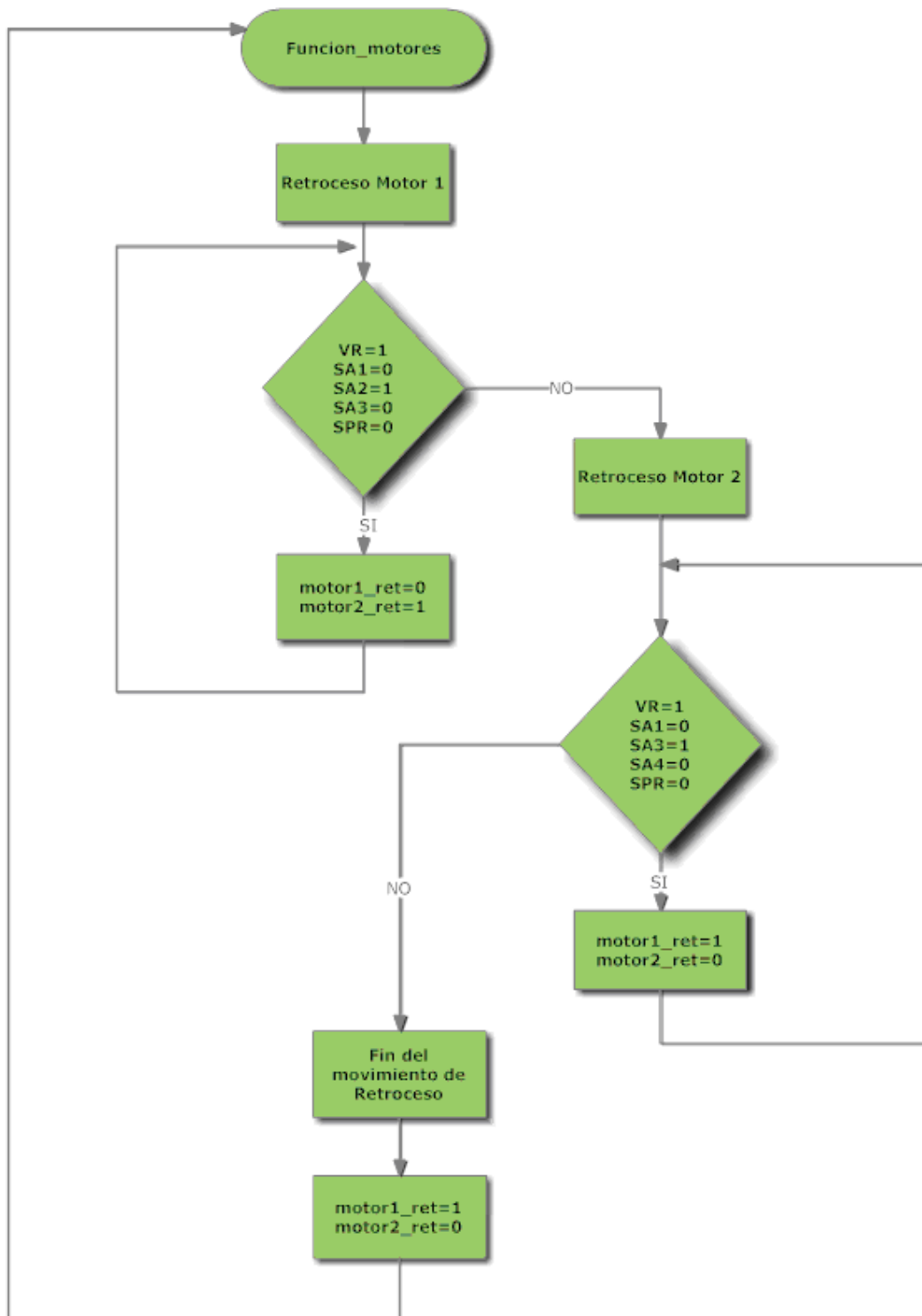


Figura 6-27: Diagrama de estados de la función de control del movimiento (retroceso)

También se ha añadido una mejora: cuando se produce una interrupción por parte de los botones de avance o retroceso a modo de “parada de emergencia” se ha añadido un

retardo, de forma que se evite la posible situación de volver a activar la señal por nerviosismo del usuario o por cualquier otro motivo que lleve a pulsar varias veces uno de los botones que realizan la parada (ya que se trata de los mismos que activan el movimiento). Puede verse el diagrama de bloques que controla esta función (Figura 6-28) que se activa mediante un pulso en el botón de avance y funciona como interrupción (se ejecuta sin importar dónde se encuentre “el programa” en ese momento):

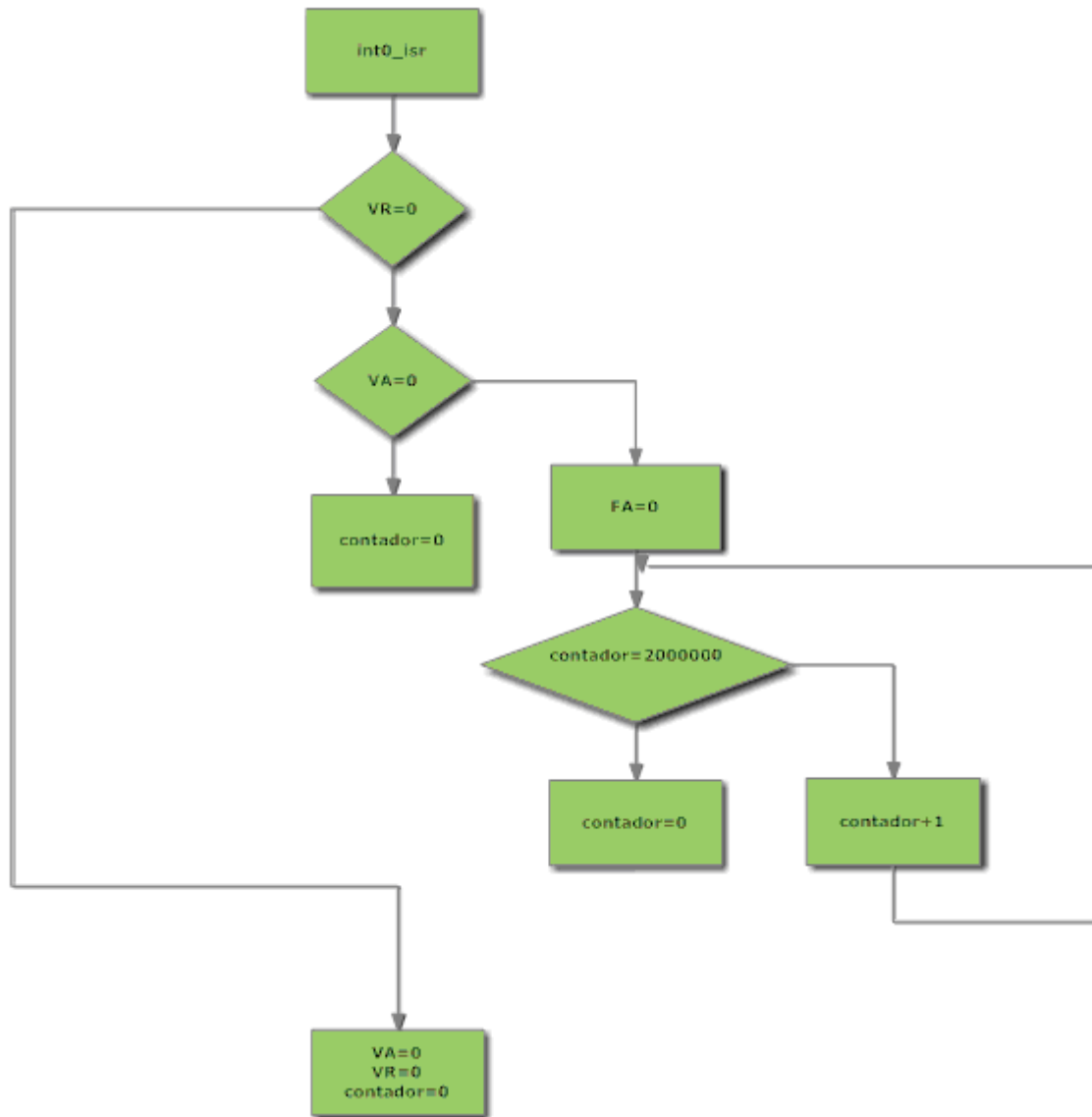


Figura 6-28: Diagrama de estados de la función de interrupción de avance

Por otra parte se observó que lo que en principio se pretendía conseguir con la salida “topes” (tener una salida que activase un tope de tipo solenoide y que asegurase que el sistema no se moviese cuando debía estar en reposo) no era necesario. El par resistente de los motores utilizados era alto y hacía que esta situación no pudiera darse de forma involuntaria, por lo que se eliminó la funcionalidad del programa al probar que no era necesario. Se lograba además reducir el consumo previsto, ya que para desbloquear los topes y permitir el movimiento, éstos deberían alimentarse y por lo tanto, demandarían corriente de la alimentación (los topes sólo desbloquearían el movimiento mediante corriente, para lograr que el sistema se mantuviese bloqueado cuando estuviese desconectado).



Otro cambio realizado en el programa es que se asignó a las entradas el valor 0 al comienzo del programa, de forma que en caso de fallo en la lectura de los mismos se mantenga ese valor y poder comprobar que hubiese un error.

Y finalmente se ajustaron los nombres de las salidas a las nuevas necesidades, ya que ahora no se trata de salidas con señal PWM, así como de la función llamada en el bucle infinito “while” que ejecuta estas acciones de activación de movimientos. De esta forma el código es más intuitivo y fácil de comprender.

Para ver el código del programa final pueden consultarse los anexos disponibles al final del documento.

En cuanto a la configuración definitiva de las entradas y salidas, se observa a continuación el fragmento del programa en el que se hace la declaración. Puede verse que se ha mantenido igual la declaración de las entradas mientras que las salidas han cambiado en denominación y en número, al haberse eliminado la funcionalidad de “topes” como se ha comentado anteriormente.

```
//-----  
// Global Constants  
//-----  
  
#define SYSCLK 24500000 // Internal oscillator frequency in Hz  
  
sbit SA1 = P0^0; //Bit entrada del sensor barra 2, recogida  
sbit SA2 = P0^1; //Bit entrada del sensor barra 2, abierta  
sbit SA3 = P0^2; //Bit entrada del sensor barra 1, recogida  
sbit SA4 = P0^3; //Bit entrada del sensor barra 1,  
                //desplegada  
sbit SPR = P0^4; //Bit entrada del Sensor de Presencia  
// P1 = P0^6; //Bit de entrada de la INT0 (Avance)  
// P2 = P0^7; //Bit de entrada de la INT1 (Retroseso)  
/*****SALIDAS*****/  
  
sbit mot2_av = P1^0; //Bit avance motor 2 (mov. giro)  
sbit mot2_ret = P1^1; //Bit retroseso motor 2 (mov. giro)  
sbit mot1_av = P1^2; //Bit avance motor 1 (mov. lineal)  
sbit mot1_ret = P1^3; //Bit retroseso motor 1 (mov. lineal)  
sbit topes = P1^4; //Bit topes de seguridad  
  
int VA,VR = 0; //Dice que PWM tiene que activarse.  
  
int contador=0;  
int x = 0;
```


7 RESULTADOS

En la figura 7-1 se ve el resultado de la instalación del dispositivo en la silla de Clara. Se trata de una imagen tomada durante las pruebas. Se observa la situación del brazo una vez hechos los movimientos de apertura y extensión, que sitúan el teléfono a una altura que no molesta a Clara para realizar su vida normal. Asimismo, se aprecia que no se ha alterado el ancho o largo de la silla al tener instalado el prototipo.



Figura 7-1: Posición extendida del brazo sobre la silla de Clara

Una vez realizadas las modificaciones y mejoras en el prototipo diseñado en el proyecto de Lorenzo de la Cruz [5], éste ha quedado funcionando correctamente. A continuación, en las figuras 7-2 y 7-3, puede verse una tira de imágenes extraídas de una grabación (tomada durante la última prueba realizada), en la que se ve el dispositivo en movimiento realizando el movimiento de extensión del brazo (situando el móvil en la parte delantera de la silla) tras haber pulsado el botón rojo del mando de control:

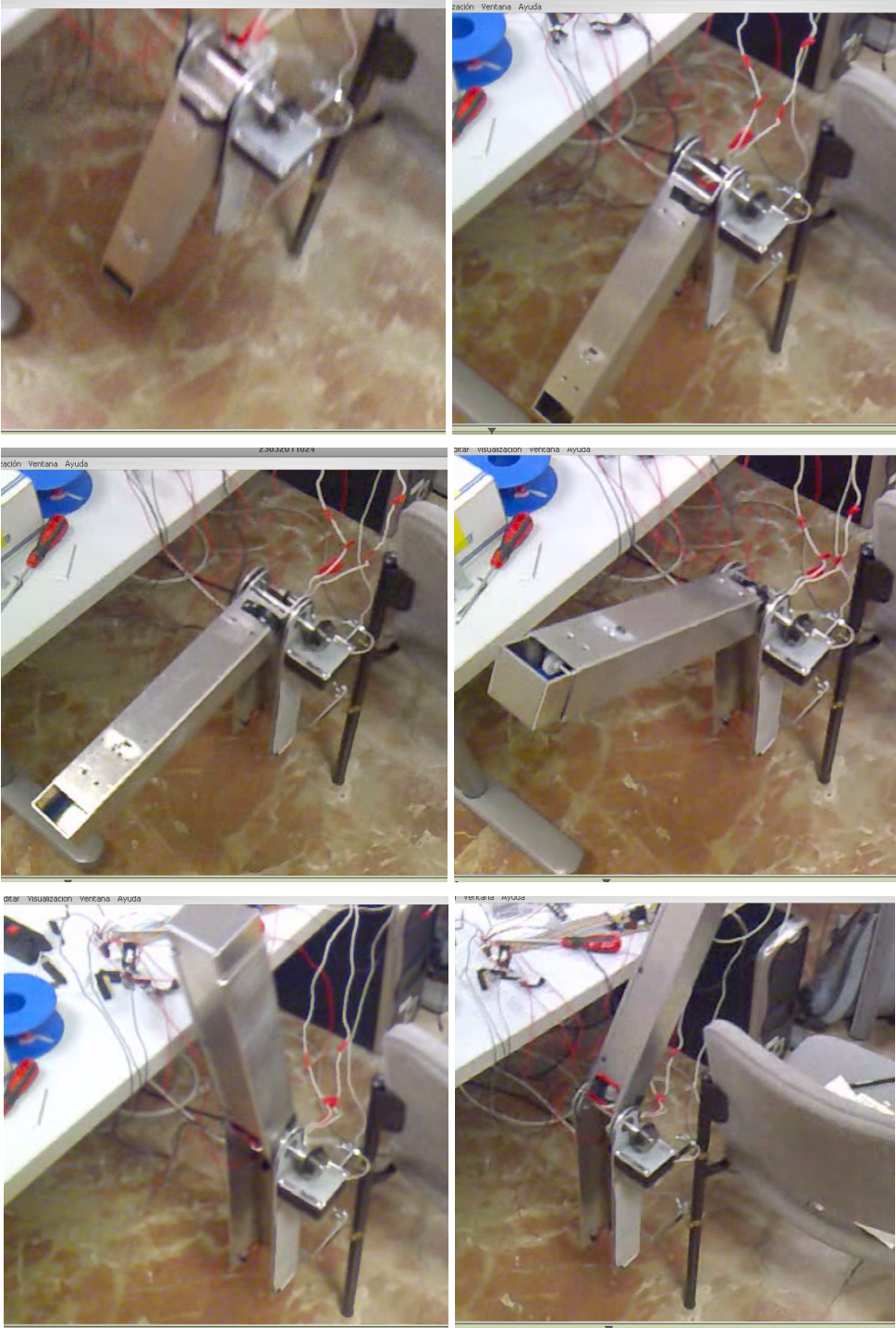


Figura 7-2: Fotogramas movimiento avance 1



Figura 7-3: Fotogramas movimiento avance 2

Las tiras de imágenes que se observan en la figuras 7-4 y 7-5 muestran el movimiento contrario, el de recogida del brazo a la parte trasera de la silla, tras pulsar el botón negro del mando de control



Figura 7-4: Fotogramas movimiento retroceso 1

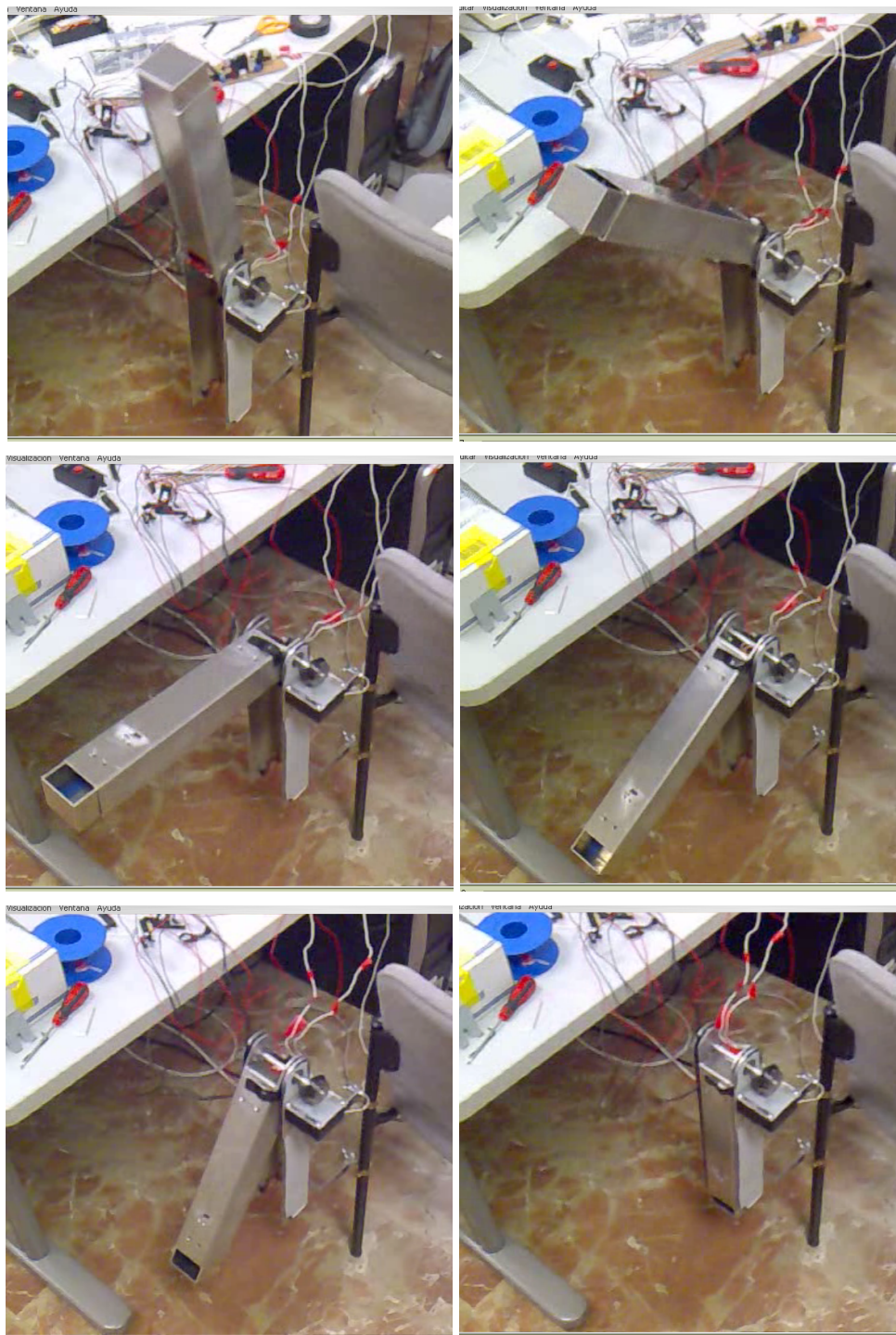


Figura 7-5: Fotogramas movimiento retroceso 2

Este video puede visualizarse en la dirección de Internet siguiente:

<http://vimeo.com/25143647>

8 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

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

Esto se ha logrado manteniendo las especificaciones planteadas en un inicio, siendo estas fijadas por las necesidades de una usuaria concreta: que permita acceder a un dispositivo de telefonía móvil o PDA de forma sencilla y automática, y sin entorpecer las actividades diarias.

Aunque la implementación se ha centrado en esta usuaria, el prototipo mantiene su cualidad de ser un diseño para todos, ya que se ha dejado facilidad para realizar pequeños cambios tanto en la mecánica, como la electrónica (en especial el hardware, que no precisa de herramientas de software para su adaptación como así puede suceder con la programación) que permitan dotar de mejoras al brazo electromecánico.

Se podrían realizar gran cantidad de trabajos para mejorar el prototipo, como por ejemplo:

- Optimizar la sensorización del aparato, y en concreto del funcionamiento de los sensores de presencia, y puesta en funcionamiento de los mismos. Con esto se evitarían posibles colisiones con objetos o personas, al detener el movimiento del brazo.
- Adaptación a otros usuarios.
- Reducir el peso y volumen del dispositivo, a la vez que mejorar su imagen, con lo que sería posible utilizar motores menos potentes y abaratar el precio del conjunto.
- Mejorar la mecánica del aparato (transmisiones más eficientes, etc.), también con el objetivo de poder utilizar motores menos potentes y reducir dimensiones y costes.
- Optimizar el funcionamiento del hardware, con el objetivo de dotar de mayor robustez al circuito ante posibles eventos no deseados: aumentos de corriente demandada, cambios en la mecánica, etc.
- Adaptar para otras funciones, como dar acceso a otros elementos, como un ordenador portátil, una mesa, etc.

Una vez finalizada la implementación del diseño, se puede concluir que se ha cumplido satisfactoriamente con las expectativas fijadas.





BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://www.hospitalsanrafael.es/Historia/Historia.htm> (Mayo 2011)
- [2] <http://www.colegioeducacionespecialhsr.es/> (Mayo 2011)
- [3] <http://www.colegioeducacionespecialhsr.es/educacionTVA.html> (Mayo 2011)
- [4] “Las discapacidades Orientación e Intervención Educativa”, Pilar Ibáñez López. Ed. DYKINSON (Madrid 2002)
- [5] “Desarrollo de una ayuda técnica para alumnos del colegio San Rafael (3). Brazo extensible para utilizar móviles o PDA’s en silla de ruedas (I): Diseño”, Lorenzo de la Cruz Fajardo (Mayo 2011)
- [6] <http://www.zerbitzuan.net/documentos/zerbitzuan/Robotica%20y%20personas%20con%20discapacidad.pdf> (Mayo 2011)
- [7] <http://www.siiis.net/documentos/hemeroteca/7092615.pdf> (Mayo 2011)
- [8] <http://vidagadget.com/brazo-mecanico-para-abrir-puertas-desde-la-silla-de-ruedas/> (Enero 2011)
- [9] http://www.ozgurbedenler.com/patient_hoist_lift.asp?id=562&/robotic_arm (Enero 2011)
- [10] <http://www.solociencia.com/ingenieria/06110201.htm> (Enero 2011)
- [11] http://148.204.64.201/paginas%20anexas/ciencia/final_archivos/frame.htm#slide0025.htm (Diciembre 2010)
- [12] <http://www.elmundo.es/elmundosalud/2010/08/16/tecnologiamedica/1281955712.html> (Enero 2011)
- [13] <http://gizmologia.com/2010/08/rapuda-brazo-robot-que-ayuda-a-los-discapacitados-el-futuro-esta-aqui> (Enero 2011)
- [14] <http://www.discapacidadonline.com/silla-ruedas-brazo-robotico-controlada-ondas-cerebrales.html> (Junio 2011)
- [15] <http://www.designforall.org/es/index.php>
- [16] <http://www.mundoceys.com/index.asp?opc=78&Idioma=ES&GR=626&IDFamilia=11> (Junio 2011)
- [17] <http://www.daltonismo.es/> (Junio 2011)



ANEXO I. Pliego de condiciones

Hardware

Los dispositivos que se han utilizado para desarrollar este proyecto son los siguientes:

- Fuente de alimentación de corriente continua, TEKTRONIX EX752M MULTI-MODE PSU 75V/50V 300W.
- Osciloscopio, TEKTRONIX TDS2010 Digital Storage Osciloscop.
- Programador y kit de adaptador ToolStick Base Adapter, 3ft USB Extension Cable.
- Tarjeta hija y kit de desarrollo ToolStick C8051F330 Daughter Card.
- Ordenador personal.

Software

Los dispositivos software que se han usado para desarrollar este proyecto son los siguientes:

- Solid Edge V19 para el desarrollo de las piezas.
- Compilador Silicon Laboratories IDE.
- OrCad Capture CIS V10.0 para desarrolla el circuito electrónico.
- OrCad Layout Plus para el diseño del circuito impreso de la PCB.

Materiales y piezas mecánicas

Pieza	Tipo	Material	Unidades
Anclaje (sujeción)	2	Acero galvanizado	2
Complemento anclaje	2	Aluminio	2
Cremallera	1	Nylon	1
Caja de controles	-	PVC	1
Eje	1	Aluminio	1
Eje	2	Aluminio	1
Eje	3	Aluminio	1
Engranaje cónico	1	Acero	1
Engranaje cónico	2	Acero	1
Engranaje cónico	3	Nylon	2
Escuadra motor	1	Aluminio	2
Escuadra motor	2	Aluminio	1
Escuadra eje	1	Aluminio	1
Escuadra eje	2	Aluminio	1
Unión ejes	1	Aluminio	1
Motor	1	-	1



Motor	2	-	1
Pieza A	A	Aluminio Magal 30 5754	1
Pieza B	B	Aluminio Magal 30 5754	1
Pieza C	C	Aluminio Magal 30 5754	1
Rueda dentada	1	Nylon	1
Pieza sujeción móvil	1	Aluminio	1
Sujeción móvil	1	PVC	1
Tornillo	M3	Acero inoxidable A2	35
Tornillo	M4	Acero inoxidable A2	7
Tornillo	M6	Acero inoxidable A2	3
Velcro	1	Plástico	1

Materiales y componentes electrónicos

Componentes	Descripción	Unidades
Microcontrolador	8051F330	1
Etapa de potencia en Puente H	MPC17531AEV (SMD)	1
Regulador de tensión variable	LM317 (T220)	2
Diodo	D1N4001	4
Fusible	20 mm	3
Porta Fusible	Porta fusibles vertical	3
Conectores	Terminales de conexión por tornillo	3
Conectores	Terminal de conexión plana 26pines	1
Clemas	Conectores a la batería	2
Enchufe	Enchufe con receptor	1
Condensadores 1	0.1 [uF]	8
Condensadores 2	1 [uF]	2
Condensadores 3	10 [uF]	2
Resistencias g	250 [Ohm]	1
Resistencias 1	150 [Ohm]	2
Resistencias 2	5 [Kohm] (Potenciómetro)	2
Resistencias 3	5'6[KOhm]	4
Switch Reset	Botón de reset	1
Cable	0'5mm (diámetro)	10 m
Cable	1mm (diámetro)	2 m
Cable	Cableado plano, 26 cables	0,5 m
Sensores de posición	Micro interruptores	4
Pulsador	Pulsador enrasado	2
Interruptor	Interruptor dos posiciones	1



ANEXO II. Presupuesto

En el estudio económico que se presenta a continuación se resumen los costes del material del diseño de partida que se ha mantenido más los necesarios para la implementación. En él se incluyen los costes de material y personal referidos únicamente a la parte de implementación del prototipo.

Costes de material mecánico

El coste de las piezas de que consta el prototipo es:

Item	Tipo	Material	Unidades	Precio Unidad (€)	Precio total (€)
Anclaje (sujeción)	1	Acero galvanizado	2	4	8
Complemento anclaje	1	Aluminio	2	3	6
Cremallera	1	Nylon	1	53,84	53,84
Caja de controles	-	PVC	1	4,15	4,15
Eje	1	Aluminio	1	5	5
Eje	2	Aluminio	1	7	7
Eje	3	Aluminio	1	6	6
Engranaje cónico	1	Acero	1	10,51	16,7
Engranaje cónico	2	Acero	1	20,46	21,02
Engranaje cónico	3	Nylon	2	2,27	4,54
Escuadra motor	1	Aluminio	2	27	54
Escuadra motor	2	Aluminio	1	24	24
Escuadra eje	1	Aluminio	1	20	20
Escuadra eje	2	Aluminio	1	15	15
Unión ejes	1	Aluminio	1	3	3
Motor	1	-	1	31,57	31,57
Motor	2	-	1	135,61	135,61
Pieza A	A	Aluminio Magal30 5754	1	136	136
Pieza B	B	Aluminio Magal30 5754	1	152	152
Pieza C	C	Aluminio Magal30 5754	1	167	167
Rueda dentada	1	Nylon	1	2,85	2,85
Pieza sujeción móvil	1	Aluminio	1	12	12
Sujeción móvil	1	Plástico	1	7,99	7.99



Tornillo	M3	Acero inoxidable A2	35	0,05	1,75
Tornillo	M4	Acero inoxidable A2	7	0,02	0,14
Tornillo	M6	Acero inoxidable A2	3	1,05	3,15
Velcro	-	Velcro Tackceys	1	5,30	5,30
				COSTE TOTAL	895,62 €

Costes de material electrónico

Componente	Descripción	Unidades	Precio Unidad (€)	Precio total (€)
Microcontrolador	8051F330	1	27,99	27,99
Puente H	MPC17531AEV (SMD)	1	2,66	2,66
Regulador	LM317 (T220)	2	0,74	1,48
Diodo	D1N4001	4		4
Fusible	20 mm	3	0,08	0,24
Porta Fusible	Porta fusibles vertical	3	0,34	1,02
Conectores	Terminales de conexión por tornillo	3	0,39	1,17
Conectores	Terminal de conexión plana de 26 pines	1	2,68	2,68
Clemas	Conectores a la batería	2	0,03	0,06
Enchufe	Enchufe con receptor	1	0,63	0,63
Condensadores 1	0.1 [uF]	8	0,04	0,32
Condensadores 2	1 [uF]	2	0,04	0,08
Condensadores 3	10 [uF]	2	0,01	0,02
Resistencias g	250 [Ohm]	1	0,05	0,05
Resistencias 1	150 [Ohm]	2	0,05	0,1
Resistencias 2	5 [Kohm] (Potenciómetro)	2	0,05	0,1
Resistencias 3	5'6[KOhm]	4	0,05	0,2
Switch Reset	Botón de reset	1	0,12	0,12
Cable [m]	0'5mm (diámetro)	10	0,05	0,5
Cable [m]	1mm (diámetro)	2	0,46	0,92
Cable [m]	Cableado plano, 26 cables	0,5	3,90	1,95
Sensores de posición	Micro interruptores	4	1,83	7,32
Pulsador	Pulsador enrasado	2	9,13	18,26

Brazo extensible para utilizar móviles o PDAs en silla de ruedas (II):
Implementación



Interruptor	Interruptor dos posiciones	1	4,27	4,27
Enchufe	Enchufe	1	0.48	
COSTE TOTAL				76,14 €

El coste de material total es:

Concepto	Cantidad (€)
Material mecánico	895,62
Componentes electrónicos	76,14
TOTAL MATERIALES	970,76 €

Que comparado con el coste de material del diseño (1.077,61 €), se ha reducido en 106,85€.

Costes de personal

Para estimar los costes de personal se mantendrán los costes del proyecto de diseño del prototipo (ya que también son parte del valor del mismo) y se le sumarán los de la implementación. Se hará una estimación de costes aproximados siguiendo la siguiente tabla de precios:

Ingeniero Técnico Industrial Electrónico.....	20 €/hora
Técnico Electrónico.....	14 €/hora
Técnico Mecánico.....	14 €/hora
Secretario.....	10 €/hora

Las cargas sobre los salarios son las siguientes:

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

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

Tarea	Número de horas	Coste/hora	TOTAL
Implementación	500h	25,73 €/hora	12.868 €
Documentación	100h	18,01 €/hora	1801 €
TOTAL PERSONAL			14.666 €

Sumando con el coste personal total obtenido en el proyecto de diseño del prototipo, que ascendía a 14.666 €, obtenemos como coste total de personal **29.332 €**

Presupuesto total de la ejecución del prototipo

Concepto	Cantidad (€)
Coste de material	970,76 €
Coste de personal	29.332 €
COSTE TOTAL DE LA EJECUCIÓN	30.302,76 €





ANEXO III. Código Fuente

```
//-----  
// Includes  
//-----  
#include <c8051f330.h>          // SFR declarations  
#include <stdio.h>  
  
//-----  
// Global Constants  
//-----  
  
#define SYSCLK      24500000    //Internal oscillator frequency in Hz  
sbit SA1 = P0^0;               //Bit entrada del sensor barra 2, recogida  
sbit SA2 = P0^1;               //Bit entrada del sensor barra 2, abierta  
sbit SA3 = P0^2;               //Bit entrada del sensor barra 1, recogida  
sbit SA4 = P0^3;               //Bit entrada del sensor barra 1, desplegada  
sbit SPR = P0^4;               //Bit entrada del Sensor de Presencia  
  
// P1 = P0^6;                  //Bit de entrada de la INT0 (Boton avanzar)  
// P2 = P0^7;                  //Bit de entrada de la INT1 (Boton retroceder)  
  
/*****SALIDAS*****/  
  
sbit mot2_av = P1^0;           //Bit avance motor 2 (mov. giratorio)  
sbit mot2_ret = P1^1;          //Bit retroceso motor 2 (mov. giratorio)  
sbit mot1_av = P1^2;           //Bit avance motor 1 (mov. lineal)
```



```
sbit mot1_ret = P1^3;          //Bit retroceso motor 1 (mov. lineal)
int VA,VR = 0;                // PWM tiene que activarse.
int contador=0;
int x = 0;

//-----
// Function Prototypes
//-----

void OSCILLATOR_Init (void);
void PORT_Init (void);
void Interrupts_Init(void);
void Voltage_Reference_Init(void);
void Funcion_motores (void);

void INT0_ISR (void);
void INT1_ISR (void);

//-----
// main() Routine
//-----

void main (void)
{
    PCA0MD = 0x00;            // Desabilitar watchdog timer
    PORT_Init ();            // Inicializar crossbar and GPIO
    OSCILLATOR_Init ();      // Inicializar oscilador
    Interrupts_Init();       // Inicializar interrupciones
```



```
Voltage_Reference_Init(); // Inicializar voltaje de referencia
// Inicialización de variables

SA1 = 0;
SA2 = 0;
SA3 = 0;
SA4 = 0;
SPR = 0;
mot1_av = 0;
mot1_ret = 0;
mot2_av = 0;
mot2_ret = 0;
contador=0;
VA=0;
VR=0;

while (1)
{
    Funcion_motores();
}
}
```



```
//-----  
// Función de movimiento de motores  
//-----  
  
void Funcion_motores (void)  
{  
    // motor 2 avance sale por P1.0  
    while ((VA==1) && (SA2==0) && (SA3==1) && (SA4==0) && (SPR==0))  
    {  
        x=0;  
  
        mot1_av = 0;  
        mot2_av = 1;  
    }  
  
    // motor 1 avance sale por P1.2  
    while ((VA==1) && (SA1==0) && (SA2==1) && (SA4==0) && (SPR==0))  
    {  
        x=0;  
  
        mot1_av = 1;  
        mot2_av = 0;  
    }  
  
    // final del movimiento de avance  
    while ((VA==1) && (SA1==0) && (SA2==1) && (SA3==0) && (SA4==1) &&  
(SPR==0))  
    {  
        VA=0;  
  
        mot1_av = 0;  
        mot2_av = 0;  
    }  
}
```



```
// motor 1 retrocede sale por P1.3
while ((VR==1) && (SA1==0) && (SA2==1) && (SA3==0) && (SPR==0))
{
x=0;

mot1_ret = 1;
mot2_ret = 0;
}

// motor 2 retrocede sale por P1.1
while ((SA1==0) && (SA3==1) && (SA4==0) && (SPR==0) && (VR==1))
{
x=0;

mot2_ret = 1;
mot1_ret = 0;
}

// final del movimiento de retroceso
while ((VR==1) && (SA1==1) && (SA2==0) && (SA3==1) && (SA4==0) &&
(SPR==0))
{
VR=0;

mot1_ret = 0;
mot2_ret = 0;
}
```



```
mot1_av = 0;

mot1_ret = 0;

mot2_av = 0;

mot2_ret = 0;

}

//-----
//  RUTINA INTERRUPCION INT0 - Boton Verde Avance
//-----

void INT0_ISR (void) interrupt 0
{
    if (VR==0)
        {
            if (VA==0)
                {
                    VA=1;
                    contador=0;
                }
            else // si se da este caso es porque VA está activo, por lo que
                // es una "parada de emergencia"
                {
                    VA=0;
                    if (contador==2000000)
                        {
                            contador=0;
                        }
                }
        }
}
```



```
        else
        {
            while (contador<2000000) // retardo
                contador++;
        }
    }

else
    {
        VA=0;
        VR=0;
        contador=0;
    }
}

//-----
//  RUTINA INTERRUPCION INT1 - Botón Rojo de Retroceso
//-----

void INT1_ISR (void) interrupt 2
{
    if (VA==0)
        {
            if (VR==0)
                {
                    VR=1;
                    contador=0;
                }
        }
}
```




```
else // si se da este caso es porque VR está activo, por lo que
    // es una "parada de emergencia"
    {
        VR=0;
        if (contador==2000000)
        {
            contador=0;
        }
        else
        {
            while (contador<2000000) // retardo
                contador++;
        }
    }
}

else
{
    VA=0;
    VR=0;
    contador=0;
}
}
```



```
//-----  
// Initialization Subroutines  
//-----  
  
//-----  
// OSCILLATOR_Init  
//-----  
void OSCILLATOR_Init (void)  
{  
    OSCICN = 0x83;           // Set internal oscillator to run  
                            // Se cambia la frecuencia  
  
    CLKSEL = 0x00;         // Select the internal osc. as  
                            // the SYSCLK source  
}  
  
//-----  
// PORT_Init  
//-----  
void PORT_Init (void)  
{  
    // P0.0 - Unassigned, Open-Drain, Digital  
    // P0.1 - Unassigned, Open-Drain, Digital  
    // P0.2 - Unassigned, Open-Drain, Digital  
    // P0.3 - Unassigned, Open-Drain, Digital  
    // P0.4 - Unassigned, Open-Drain, Digital  
    // P0.5 - Unassigned, Open-Drain, Digital
```



```
// P0.6 - Unassigned, Open-Drain, Digital
// P0.7 - Unassigned, Open-Drain, Digital

// P1.0 - Unassigned, Push-Pull, Digital
// P1.1 - Unassigned, Push-Pull, Digital
// P1.2 - Unassigned, Push-Pull, Digital
// P1.3 - Unassigned, Push-Pull, Digital
// P1.4 - Unassigned, Push-Pull, Digital
// P1.5 - Unassigned, Push-Pull, Digital
// P1.6 - Unassigned, Push-Pull, Digital
// P1.7 - Unassigned, Push-Pull, Digital

P1MDOUT = 0xFF;
XBR1    = 0x40;
}

//-----
// Voltaje de Referencia
//-----

void Voltage_Reference_Init()
{
    REF0CN = 0x08;
}

//-----
```



```
// Habilitar las interrupciones
//-----
void Interrupts_Init()
{
    IE = 0x85;           //Habilita todas las interrupciones y
                        //activa INT0 e INT1
    TCON = 0x05;        //Configura INT0 e INT1 para que se
                        //activen por flanco
    IP = 0x01;          //Prioridad 1 para la INT0
    IT01CF = 0xFE;      //Asigna el pin P0.6 para la
                        //interrupción INT0 y el pin
                        //P0.7 para la interrupción INT1
}

//-----
// End Of File
//-----
```



ANEXO III. Datasheet

- C8051F330 (Microcontrolador)

www.efo.ru/doc/Silabs/pdf/C8051F33x.pdf

- Toolstick – F330 DC (Placa de desarrollo del microcontrolador)

http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/ToolStick_F330_DC_UG.pdf

- MPC17531AEV (Driver motores)

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/116670/FREESCALE/MPC17531AEV.html>

- LM317 (Regulador de tensión)

<http://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/11662/ONSEMI/LM317.html>