

Proyecto Final  
Robot recolector de residuos  
Diseño, implementación y construcción física

Guillermo Campelo  
Juan Ignacio Goñi  
Diego Nul

Tutor: Prof. Juan Manuel Santos

Instituto Tecnológico de Buenos Aires  
Departamento de Informática

8 de agosto de 2010

**Resumen**

**Palabras clave:** *Robot, recolector, residuos, robótica, comportamientos, visión, MR-2FA, L298, FR304, HX5010, GP2D120, BC327, SRF05, CNY70, motor, servo, telémetro, daisy chain, RS232, subsumption, We-bots, OpenCV, detección, objetos*

# Índice

0.1.	Requerimientos . . . . .	6
0.2.	Ideas de implementación . . . . .	6
0.2.1.	Locomoción . . . . .	6
0.2.2.	Sensado del entorno . . . . .	6
0.2.3.	Controlador . . . . .	7
0.2.4.	Método de recolección . . . . .	8
0.3.	Actuadores . . . . .	8
0.3.1.	Motores de continua . . . . .	8
0.3.1.1.	Características . . . . .	8
0.3.1.2.	Circuito de control . . . . .	9
0.3.1.3.	Rutinas de control . . . . .	10
0.3.2.	Servo motores . . . . .	11
0.3.2.1.	Circuito de control . . . . .	11
0.3.2.2.	Rutinas de control . . . . .	12
0.4.	Sensado . . . . .	12
0.4.1.	Telémetros infrarrojos . . . . .	12
0.4.1.1.	Características . . . . .	12
0.4.1.2.	Circuito de control . . . . .	13
0.4.1.3.	Rutinas de control . . . . .	13
0.4.2.	Sensor de distancia por ultrasonido . . . . .	14
0.4.2.1.	Características . . . . .	14
0.4.2.2.	Circuito de control . . . . .	15
0.4.2.3.	Rutinas de control . . . . .	15
0.4.3.	Sensor reflectivo de piso . . . . .	15
0.4.3.1.	Características . . . . .	16
0.4.3.2.	Circuito de control . . . . .	16
0.4.3.3.	Rutinas de control . . . . .	17
0.4.4.	Encoders . . . . .	17
0.4.4.1.	Características . . . . .	17
0.4.4.2.	Circuito de control . . . . .	17
0.4.4.3.	Rutinas de control . . . . .	17
0.4.5.	Sensado de la batería . . . . .	18
0.4.6.	Consumo del motor . . . . .	19
0.4.6.1.	Pulsador u otro dispositivo disparador . . . . .	19
0.4.6.2.	Rutinas de control . . . . .	19
0.5.	Controladores . . . . .	19
0.5.1.	Netbook . . . . .	20
0.5.2.	Microcontrolador . . . . .	20
0.5.2.1.	Características . . . . .	20
0.5.2.2.	Módulos internos . . . . .	21
0.5.2.3.	Programación del firmware . . . . .	22
0.6.	Comunicación . . . . .	22
0.6.1.	Conectividad entre módulos . . . . .	22
0.6.2.	Protocolo de comunicación . . . . .	23
0.6.2.1.	Comandos comunes . . . . .	24
0.6.2.2.	Comandos específicos . . . . .	25
0.7.	Placas controladoras . . . . .	25

0.7.1.	Placa genérica . . . . .	28
0.7.1.1.	Características principales . . . . .	28
0.7.1.2.	Módulo de comunicación . . . . .	29
0.7.1.3.	Alimentación de la placa . . . . .	30
0.7.1.4.	Configuración . . . . .	30
0.7.1.5.	Esquemático . . . . .	30
0.7.1.6.	Circuito . . . . .	31
0.7.1.7.	Código básico . . . . .	31
0.7.1.8.	Posibles extensiones . . . . .	33
0.7.2.	Placa controladora de motores DC . . . . .	33
0.7.2.1.	Características principales . . . . .	33
0.7.2.2.	Comunicación . . . . .	33
0.7.2.3.	Alimentación de la placa . . . . .	34
0.7.2.4.	Configuración . . . . .	34
0.7.2.5.	Esquemático . . . . .	35
0.7.2.6.	Circuito . . . . .	37
0.7.2.7.	Código básico . . . . .	37
0.7.2.8.	Posibles extensiones . . . . .	38
0.7.3.	Placas de sensado . . . . .	38
0.7.3.1.	Características principales . . . . .	38
0.7.3.2.	Módulo de comunicación . . . . .	39
0.7.3.3.	Alimentación de la placa . . . . .	39
0.7.3.4.	Configuración . . . . .	39
0.7.3.5.	Esquemático . . . . .	39
0.7.3.6.	Circuito . . . . .	39
0.7.3.7.	Código básico . . . . .	41
0.7.3.8.	Posibles extensiones . . . . .	41
0.7.4.	Placa controladora de servo motores . . . . .	42
0.7.4.1.	Características principales . . . . .	42
0.7.4.2.	Módulo de comunicación . . . . .	43
0.7.4.3.	Alimentación de la placa . . . . .	43
0.7.4.4.	Configuración . . . . .	43
0.7.4.5.	Esquemático . . . . .	43
0.7.4.6.	Circuito . . . . .	43
0.7.4.7.	Código básico . . . . .	46
0.7.4.8.	Posibles extensiones . . . . .	46
0.8.	Armado del prototipo . . . . .	46
0.8.1.	Diseño . . . . .	47
0.8.2.	Características . . . . .	47
0.8.3.	Desarme . . . . .	47
<b>A. protocolo de comunicacion</b>		<b>50</b>
<b>B. Código fuente</b>		<b>51</b>
B.1.	Placa genérica . . . . .	51
B.2.	Archivo <i>protocolo.c</i> . . . . .	53
B.3.	Placa controladora de motor de dc . . . . .	56
B.4.	Placa controladora de sensores . . . . .	65
B.5.	Placa controladora de servo motores . . . . .	78

## Índice de cuadros

1.	Características del motor Ignis MR-2FA. . . . .	9
2.	Tabla de verdad para el control del driver <i>L298</i> . . . . .	10
3.	Características del servo HX5010. . . . .	11
4.	Características del sensor de distancia por ultrasonido SRF05. . .	12
5.	Características del sensor SRF05. . . . .	14
6.	Tensión de la batería y la tensión de salida en el divisor. . . . .	18
7.	Tabla comparativa para el consumo del motor. . . . .	19
8.	Pines de programación en circuito con <i>ICD2</i> . . . . .	22
9.	Conexionado entre placas en modo Link . . . . .	23
10.	Conexionado entre placa y la PC . . . . .	23
11.	Formato y header del paquete de datos . . . . .	24
12.	ID para cada grupo según su función. . . . .	24
13.	Comandos comunes a todos los controladores. . . . .	25
14.	Comandos específicos al <i>DC MOTOR</i> . . . . .	26
15.	Comandos específicos al <i>SERVO MOTOR</i> . . . . .	27
16.	Comandos específicos al <i>DISTANCE SENSOR</i> . . . . .	28
17.	Comandos específicos al <i>BATTERY CONTROLLER</i> . . . . .	29
18.	Comandos específicos al <i>TRASH BIN</i> . . . . .	29
19.	Alimentación de la lógica . . . . .	30
20.	Pines de alimentación del motor. . . . .	34
21.	Pines del header de comunicación con el motor. . . . .	35
22.	Lista de materiales. . . . .	84

## Índice de figuras

1.	Vista lateral y frontal del motor Ignis MR-2FA. . . . .	9
2.	Diagrama interno del driver L298. . . . .	10
3.	Diagrama de tiempos del sensor GP2D120. . . . .	13
4.	Voltaje de salida según la distancia al objeto del telémetro GP2D120. .	13
5.	Ángulo de apertura según la distancia del telémetro GP2D120. .	13
6.	Haz ultrasónico del sensor SRF05. . . . .	14
7.	Diagrama de tiempos del sensor SRF05. . . . .	15
8.	Medidas en milímetros del sensor CNY70. . . . .	16
9.	Principio de funcionamiento reflectivo del sensor CNY70. . . . .	16
10.	Corriente en el colector según la distancia del sensor CNY70. . .	16
11.	Divisor de tensión para el sensado de la batería. . . . .	18
12.	Diagrama del microcontrolador PIC16F88. . . . .	20
13.	Módulos internos del microcontrolador PIC16F88. . . . .	21
14.	Diagrama general del método Daisy-Chain . . . . .	23
15.	Conectores RJ11 (6P4C) y DB9. . . . .	30
16.	Bornera de alimentación. . . . .	30
17.	Microcontrolador y headers . . . . .	31
18.	Comunicación, switch de modo y conectores de entrada y salida .	31
19.	Fuente de alimentación . . . . .	31

20.	Máscara de componentes de la placa genérica. . . . .	32
21.	Capas superior e inferior de la placa genérica. . . . .	32
22.	Microcontrolador y header de programación. . . . .	35
23.	Comunicación, switch de modo y conectores de entrada y salida. . . . .	35
24.	Driver y header de conexión con el motor. . . . .	36
25.	Divisor de tensión para el voltaje de referencia. . . . .	36
26.	Fuente de alimentación de la lógica y motor. . . . .	36
27.	Máscara de componentes de la placa controladora de motores DC. . . . .	37
28.	Capas superior e inferior de la placa controladora de motores DC. . . . .	37
29.	Microcontrolador y header de programación. . . . .	40
30.	Comunicación, llaves de modo y conectores de entrada y salida. . . . .	40
31.	Puertos de conexión para los sensores y header de <i>pull-up</i> . . . . .	40
32.	Fuente de alimentación de la lógica. . . . .	40
33.	Máscara de componentes de la placa controladora de sensores. . . . .	41
34.	Capas superior e inferior de la placa controladora de sensores. . . . .	42
35.	Microcontrolador y header de programación. . . . .	44
36.	Comunicación, llaves de modo y conectores de entrada y salida. . . . .	44
37.	Puertos de conexión para los servo motores y de uso general. . . . .	44
38.	Fuente de alimentación extendida para la lógica y servo motores. . . . .	44
39.	Máscara de componentes de la placa controladora de servo motores. . . . .	45
40.	Capas superior e inferior de la placa controladora de servo motores. . . . .	45
41.	Diagrama de desarme exterior. . . . .	48
42.	Diagrama de desarme frontal. . . . .	49
43.	Diagrama de desarme interior. . . . .	49

sHardware

## 0.1. Requerimientos

Nuestro proyecto...

## 0.2. Ideas de implementación

Evaluamos distintos factores para la elección de cada dispositivo o módulo presente en el robot. Desde la forma de desplazamiento hasta el método de sensado, pasando por el controlador, captura de imágenes y método de recolección de residuos. Estos son los factores que explicamos y detallamos en este apartado.

### 0.2.1. Locomoción

Un robot móvil se caracteriza por su capacidad de desplazarse por el entorno. Es por esto que la locomoción es un factor importante que tuvimos que resolver.

La forma que usaría el robot para desplazarse, si sería mediante ruedas, orugas o patas nos iba a determinar las necesidades de control, equilibrio, capacidad de coordinación, velocidad y hasta la autonomía.

El uso de orugas era una excelente opción como base para soporte del peso y proveía buen equilibrio, pero la fricción de las mismas generaba una posible falta de precisión que nos podía traer problemas para la detección de la cantidad de giro o desplazamiento y por ende, una incorrecta localización en el terreno. Por otra parte, la coordinación de las patas y el equilibrio del cuerpo implicaba una complejidad que escapaba al alcance del proyecto.

El uso de dos ruedas de tracción y con al menos una tercer rueda de tipo castor para proveer equilibrio fue nuestra elección de diseño.

En la sección 0.3 explicamos detalladamente la elección de los actuadores para esta tarea.

### 0.2.2. Sensado del entorno

El sensado del ambiente englobaba varios puntos que debíamos tener en cuenta a la hora de elegir la cantidad, forma, rango, método y costo de los sensores. En principio los requerimientos eran claros, necesitábamos poder detectar objetos en el ambiente, evitar obstáculos y realizar mediciones internas al robot, como eran el nivel de batería, consumo y posición de los motores.

La captura de imágenes debía ser realizada por medio de una cámara de video o webcam. Ésta proveía de la principal fuente de datos para el proceso de reconocimiento de residuos explicado en el documento. Las distintas características de la cámara como su resolución, refresco, nivel de ruido, mejoras de la imagen y su velocidad de respuesta nos determinarían la elección de la misma.

La detección de obstáculos implicaba sensores con características diferentes. Principalmente necesitábamos sensores de distancia con la apertura necesaria para cubrir lo mejor posible, el perímetro del robot, otorgando un rango de detección lo suficientemente olgado que permitiera una adecuada velocidad de respuesta al controlador principal para poder evitar objetos desconocidos o marcados como obstáculos.

Entre los distintos tipos de sensores de distancia estaban los de ultrasonido, telémetros infrarrojos y scanners láser. Los sensores de distancia por ultrasonido

tienen un rango aproximado entre 2 centímetros y 4 metros en la zona de detección y un ángulo de apertura variable según la distancia al objetivo. El tiempo de espera que debemos tener entre disparo y disparo del sensor por posibles rebotes del pulso de sonido es relativamente elevado, lo que no lo hace el más adecuado para colocarlo a lo largo del perímetro del robot. En contraparte los telémetros infrarrojos no poseen esta limitación en cuanto a los rebotes. Pero los rangos efectivos de detección de objetos no cubrían completamente nuestras necesidades.

Debido a las características de cada sensor decidimos combinarlos para aprovechar los beneficios y suplir las falencias de un tipo con otro el tipo. Un anillo de 8 telémetros distribuidos de forma tal que haya una mayor resolución en la zona frontal del robot contra la zona trasera y lateral y un único sensor de distancia por ultrasonido al frente para captar objetos a mayor distancia fue nuestra elección.

El uso de un scanner láser hubiera sido ideal para un análisis topográfico del terreno, aunque éste no era un requerimiento de nuestro proyecto y el elevado costo se escapaba de nuestra escala.

La detección de una línea en el suelo la resolvimos mediante el uso de sensores ópticos reflectivos apuntando hacia el piso de manera tal que permitieran diferenciar entre distintos niveles de reflexión y por ende, diferenciar una línea del piso.

En la sección 0.4 explicamos con más detalle cada uno de los sensores elegidos.

### **0.2.3. Controlador**

Teníamos especificaciones que nos generaban la necesidad de ejercer control sobre los distintos dispositivos presentes en el robot, ya sea para configurar o obtener la información que proveen los sensores, para controlar la velocidad de las ruedas o mismo para comunicar las distintas partes. No existía una única forma para realizar esto.

Experiencias previas nos daban la idea de tener un único controlador que mantuviera el control sobre cada uno de los dispositivos en nuestro robot. Esto generaba grandes exigencias de hardware y una alta complejidad de diseño a nivel software para coordinar y mantener todo en funcionamiento. Otra opción era la existencia de pequeños controladores distribuidos con menor capacidad de procesamiento, destinados a pocas o una única tarea, de diseño simple y con una menor complejidad a nivel software. Esta solución combinada con una buena modularización y una comunicación acorde, generaba a nuestra visión y según nuestras necesidades, la mejor opción y por ende, fue la que elegimos.

En la sección 0.5 explicamos detalladamente la elección de los controladores. En la sección 0.6 explicamos todo lo referente a la comunicación entre módulos y en la sección 0.7 el diseño y construcción de las placas.

Como la captura de imágenes la realizaríamos por medio de una cámara de video, webcam o algún otro tipo de cámara integrada y todo el procesamiento de imágenes requiere grandes capacidades de cálculo, resolvimos por simplicidad el uso de una computadora preferentemente de arquitectura x86 para facilitar la compatibilidad a nivel software. De manera conjunta decidimos el uso de una webcam con puerto USB como principal dispositivo de captura de imágenes. Por poseer una batería propia de gran capacidad, facilidad de uso, disponibilidad

de sistema operativo, entorno de desarrollo, costos y soporte a nivel repuestos, elegimos una netbook como controlador principal del robot.

#### 0.2.4. Método de recolección

La necesidad de recolección de basura del robot nos sugería la existencia de un mecanismo que permitiera tomar objetos y llevarlos al recipiente interior para la futura descarga. Entre las opciones que tuvimos en cuenta la existencia de un brazo mecánico con los suficientes grados de libertad para realizar la tarea, idea que rechazamos por las dificultades de control y construcción que sólo el brazo generaban.

Otra opción fue un mecanismo de aspirado de los residuos hacia el interior, pero esta solución no nos permitía diferenciar entre lo que recolectábamos, juntar colillas de cigarrillos, vasos o botellas y generaba gran consumo de energía.

Finalmente elegimos una solución que constaba de una pala que se extendía, recogía y contraía para dejar los residuos en el recipiente. Aunque por falta de tiempo el mecanismo no fue implementado para la presentación y armado físico del prototipo. Aún así consideramos su existencia durante todo el desarrollo del proyecto y diseñamos los mecanismos para ejercer el control tanto desde los comportamientos del robot, como también a nivel protocolo de comunicación y placas controladoras para los actuadores físicos.

### 0.3. Actuadores

La principal forma en que el robot puede interactuar activamente con el ambiente que lo rodea son los motores y cada tarea que debíamos realizar requería de actuadores acordes. Estas cuestiones son las que analizamos en este apartado.

#### 0.3.1. Motores de continua

Para la tracción principal de las ruedas necesitábamos motores que tuvieran el torque suficiente para mover el robot, pero que pudieramos medir y controlar la velocidad era la principal necesidad. Para esta tarea utilizamos motores de continua con caja reductora y encoder. Con dos de estos motores lográbamos poder garantizar una velocidad determinada en las ruedas, controlar la cantidad de movimiento en forma independiente en cada rueda y entre otras cosas conocer la cantidad de vueltas dadas por cada una de las ruedas.

##### 0.3.1.1. Características

Los motores que elegimos son de la marca Ignis<sup>1</sup> modelo *MR-2FA* con características expresadas en el cuadro 22. Están provistos de una caja reductora, poseen un encoder de 4 estados por vuelta en el eje del motor y un sensor de efecto de campo para determinar una vuelta en la salida de la caja reductora. En la figura 1 mostramos las dimensiones exteriores en centímetros del motor.

Una ventaja que encontramos en este modelo es que ya trae el encoder integrado aunque su resolución podría haber sido mayor. Los encoders los explicamos más en detalle en la sección 0.4.4. La relación de la caja reductora es de 94:1.

---

<sup>1</sup><http://www.ignis.com.ar>



Característica	Unidad	Mínimo	Nominal	Máximo
Tensión	V	8	9	12
Corriente	A	0.6	1.2	2.4
Velocidad	RPM	1	60	60
Aceleración	$1/s^2$	0.1	0.1	0.5
Torque	kgf*cm	0	1.2	6.4

Cuadro 1: Características del motor Ignis MR-2FA.

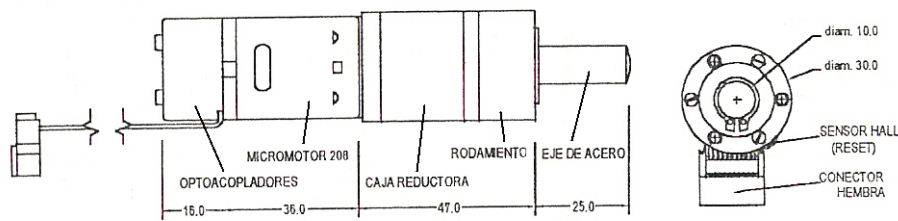


Figura 1: Vista lateral y frontal del motor Ignis MR-2FA.

#### 0.3.1.2. Circuito de control

Para alimentar y poder controlar los motores elegimos el driver *L298* de la marca ST<sup>2</sup>. Internamente tiene dos puentes H puenteables y puede soportar hasta 4A. Ésto lo logramos teniendo las salidas 1 y 2 puenteadas con las salidas 4 y 3 respectivamente, como mostramos en el diagrama de la figura 24.

La principal función del driver era proveer de la corriente y voltaje necesarios para el funcionamiento del motor, pero la configuración del puente H nos dió la posibilidad de, con una lógica simple, determinar el sentido de la corriente y potencia que recibía el motor.

Este integrado admite el puenteo de las salidas aumentando así la corriente que circulará por el motor. Para hacer esto, conectamos las salidas *Out1* y *Out4* por un lado y por el otro las salidas *Out2* y *Out3*. De igual forma los pines de habilitación *EnA* y *EnB*, luego la entrada *In1* con la *In4* por un lado y por el otro la *In2* con la *In3*. De esta forma, lo controlamos con sólo 3 cables, uno de habilitación y otros 2 de *Input* que determinan la polarización de los transistores internos y por ende, el sentido de giro del motor. En el cuadro 2 mostramos la tabla de verdad para los pines de control, donde H es estado alto, L estado bajo y X cualquier estado. En la figura 2 mostramos el diagrama interno del integrado.

Para determinar la potencia que recibirá el motor usamos el módulo de *PWM* del microcontrolador, que explicamos más en detalle en la sección 0.5.2.2. Variando el ancho del pulso sobre el pin de habilitación del driver determinamos la cantidad de tiempo que el motor recibe tensión, lo cual se traduce en la potencia que éste tiene para realizar el movimiento. Cuanto mayor es el tiempo en estado alto del pulso, mayor la potencia.

Para contrarrestar la corriente negativa en las salidas del driver usamos los

<sup>2</sup><http://www.st.com>

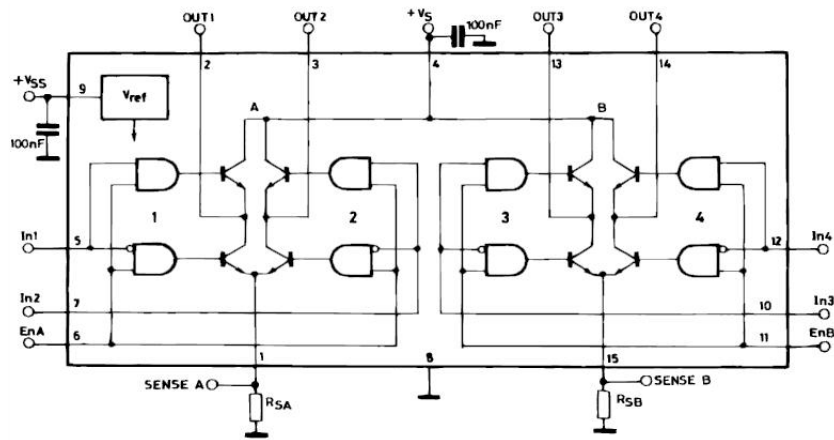


Figura 2: Diagrama interno del driver L298.

Enable	Input 1	Input 2	Función
H	H	L	Sentido horario
H	L	H	Sentido anti-horario
H	L	L	Motor frenado
H	H	H	Motor frenado
L	X	X	Motor libre

Cuadro 2: Tabla de verdad para el control del driver *L298*.

diodos *FR304* que cumplen con las especificaciones del driver con 150ns de tiempo de recuperación y una corriente de 3A.

El consumo del motor lo medimos mediante los pines de sensado en el driver, conectado a masa por una resistencia y al módulo de *ADC* del microcontrolador, que explicamos en la sección 0.5.2.2. Conociendo el valor de la resistencia y el valor leído por el módulo de *ADC*, pudimos determinar cuánta corriente que circulaba por la resistencia y por ende la corriente consumida por el motor.

Para controlar la velocidad del motor usamos uno de los dos encoders que trae. Conectados como entrada para el módulo de *Timer* del microcontrolador, en configuración de contador, que explicamos más en detalle en la sección 0.5.2.2. Usando otro *Timer* para tener una base de tiempo fija y con el valor del contador pudimos determinar y controlar la velocidad de las ruedas. Dependiendo el tamaño de las mismas será la velocidad de final del robot.

En la sección 0.7.2 explicamos el desarrollo de la placa controladora de estos motores.

### 0.3.1.3. Rutinas de control

Desde el punto de vista del código, tuvimos que desarrollar las rutinas necesarias para el manejo de los motores según las instrucciones del controlador principal.

Configuramos a uno de los timers internos del microcontrolador para que genere una interrupción cada 6,25ms, la cual usamos para realizar chequeos y

Característica	Unidad	Valor
Torque	kg	6,5
Velocidad	segundos/grado	$\frac{0,16}{60}$
Voltaje	V	4,8 a 6
Delay máximo	$\mu s$	4
Dimensiones	mm	40x20x38
Peso	g	39

Cuadro 3: Características del servo HX5010.

ejercer control sobre el motor. Verificamos el consumo del motor para evitar sobrecargar el circuito y los motores ante un posible atasco de las ruedas. También actualizamos el acumulado de vueltas realizadas por el motor para la odometría.

Cada 200ms (32 interrupciones) tomamos la cantidad de cuentas del encoder, corregimos la velocidad de giro del motor ajustando el ancho del pulso generado por el PWM. Luego borramos el contador y esperamos otros 200ms.

### 0.3.2. Servo motores

Para el movimiento de las partes del módulo de recolección, una cámara con paneo y giro o un sensor de ultrasonido colocado en la parte superior haciendo las veces de radar, pensamos en el uso de servo motores. La principal característica de estos actuadores es que sólo debemos indicar el ángulo al que queremos que esté el eje del motor y éste se coloca automáticamente. El ángulo de trabajo va desde 0° a 180° y algunos llegan hasta los 200°.

Aunque no fue implementado el ningún mecanismo que requiriera el uso de estos motores, explicamos en este apartado el trabajo realizado en torno a este tipo de actuadores. En la sección 0.7.4 explicamos el diseño de las placas que los controlan.

El servo de prueba que utilizamos para el desarrollo es el modelo *HX5010* de la marca Hextronik<sup>3</sup> con características que expresamos en el cuadro 3

#### 0.3.2.1. Circuito de control

La alimentación y consumo depende del modelo específico, variando también el torque que posee el servo.

No es necesario el uso de un driver para manejarlos, simplemente con la alimentación y una señal con el ángulo es suficiente. La forma de comunicar el ángulo varía entre los distintos servos y fabricantes. Hay servos analógicos y servos digitales. En los primeros la posición se determina mediante un voltaje que varía según cierto rango y si es digital, se setea mediante el ancho de un pulso que tiene un tiempo mínimo y máximo para mapear los ángulos mínimo y máximo respectivamente.

Dentro del modo de uso, podemos hacer que queden sueltos o que se queden fijos en cierta posición indicando, de forma continua, el valor del ángulo requerido. La frecuencia a la que debemos setear la posición depende del modelo.

<sup>3</sup><http://www.hextronik.com/>

### 0.3.2.2. Rutinas de control

Debido a que pensamos usar servos digitales y por lo menos íbamos a necesitar 3 servos, necesitábamos contar con varios módulos de PWM. Como sólo disponíamos de 1, decidimos realizar la misma función pero por software.

Usamos el timer de 16bits del microcontrolador configurado con el clock interno como medida del tiempo para crear 5 salidas con pulsos que varían su ancho en forma independiente cada una. Definimos un ancho mínimo y máximo, pudiendo configurar pasos intermedios de  $1^\circ$  (aproximadamente  $69,4\mu s$ ).

## 0.4. Sensado

En este apartado explicamos detalladamente cada uno de los sensores que utilizamos para realizar tanto las mediciones externas como las internas al robot. Analizamos las ventajas de cada uno, problemas que encontramos y sus soluciones.

En la sección 0.7.3 explicamos el diseño y construcción de las placas que controlan todos los sensores del robot.

### 0.4.1. Telémetros infrarrojos

El principio de funcionamiento de estos sensores es mediante un haz de luz infrarroja que es emitido hacia el objetivo, el cual es reflejado y captado a través de un lente por un sensor de posición relativa en el interior del sensor. En base a esta medición calculamos la distancia entre el sensor y el objeto reflectivo que se encuentra frente a él.

#### 0.4.1.1. Características

Los telémetros infrarrojos que elegimos son de la marca Sharp<sup>4</sup>, modelo *GP2D120*. En el cuadro 4 detallamos los valores característicos del modelo.

Este tipo de sensores tiene un retardo de aproximadamente  $43,1ms$  durante el cual la lectura que realizamos no es confiable y luego las nuevas lecturas se hacen en ventanas de aproximadamente el mismo tiempo. En la figura 3 mostramos el diagrama de tiempos.

Característica	Unidad	Valor
Rango máximo	<i>cm</i>	30
Rango mínimo	<i>cm</i>	4
Tensión para la máxima distancia	<i>V</i>	1.95
Tensión para la mínima distancia	<i>V</i>	2.55
Tensión de alimentación	<i>V</i>	5
Consumo máximo	<i>mA</i>	50

Cuadro 4: Características del sensor de distancia por ultrasonido SRF05.

---

<sup>4</sup><http://sharp-world.com/products/device>

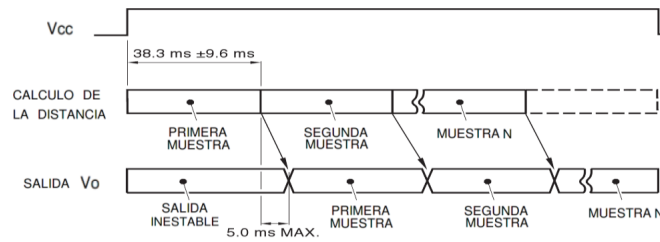


Figura 3: Diagrama de tiempos del sensor GP2D120.

#### 0.4.1.2. Circuito de control

No necesitábamos un driver para manejar los telémetros, pero decidimos usar un transistor para poder habilitarlos o no, de otra manera el sensor estaba tomando mediciones continuamente provocando un consumo de batería innecesario. De esta forma sólo se enciende cuando se va a utilizar.

El transistor que utilizamos es un conmutador y amplificador de uso general, el *BC327* y por ser de tipo PNP se activa con un estado bajo, por lo que la lógica de conmutación está negada.

El tipo de salida de este modelo de telémetros es analógica y están conectadas al módulo *ADC* del microcontrolador. En la figura 4 mostramos el cuadro de conversión entre voltaje de salida y distancia al objeto, y en la figura 5 mostramos el ángulo de apertura de la zona de detección según la distancia al objetivo.

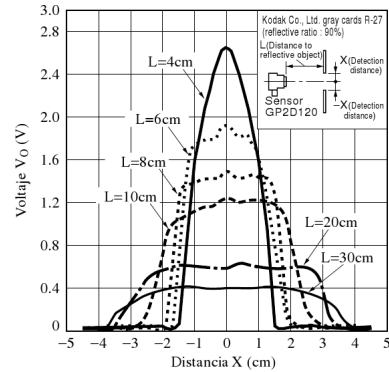
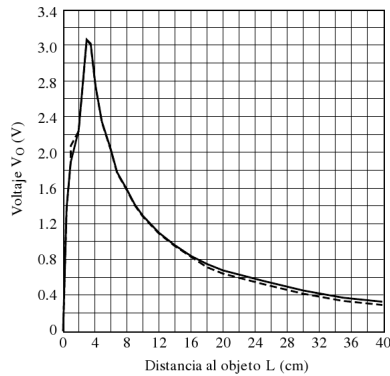


Figura 4: Voltaje de salida según la distancia al objeto del telémetro GP2D120. Figura 5: Ángulo de apertura según la distancia del telémetro GP2D120.

#### 0.4.1.3. Rutinas de control

Controlar los telémetros es relativamente sencillo. Usamos el timer de 16bits del microcontrolador configurado con el clock interno para determinar el tiempo en el cual debíamos tomar las muestras con el ADC y simplemente realizamos un promedio entre ellas para obtener la distancia al objetivo.

Para hacer esto desarrollamos una pequeña máquina de estados que controla y maneja los tiempos para tomar las muestras que explicamos más en detalle

en la sección 0.7.3.7.

#### 0.4.2. Sensor de distancia por ultrasonido

Estos sensores de distancia se basan en la velocidad del sonido para calcular la distancia al objetivo. Generan un tren de 8 pulsos ultrasónicos y luego se espera como respuesta, el mismo tren de pulsos que debería haber rebotado contra el objetivo. En base a la diferencia de tiempo entre la emisión del tren de pulsos y la respuesta, se calcula la distancia a la que se encuentra el objetivo.

##### 0.4.2.1. Características

El sensor de distancia por ultrasonido que elegimos es el modelo *SRF05* de la marca Devantech Ltd<sup>5</sup>. Esta versión mejorada del modelo *SRF04*, aumenta el rango de detección y mejora el modo de control y lectura de los datos, permitiendo hacerlo mediante un único pin.

La distancia medida mediante el tren de pulsos es codificada linealmente en el ancho de un pulso que varía de  $100\mu s$  a  $25ms$ . Si dentro del rango de detección no se encuentra ningún objeto, el pulso tendrá un ancho de  $30ms$ .

En el cuadro 5 detallamos las características del sensor *SRF05* y en la figura 6 mostramos el haz ultrasónico del sensor.

Característica	Unidad	Valor
Tensión de alimentación	$V$	5
Corriente	$mA$	4
Frecuencia de trabajo	$KHz$	40
Rango máximo	$cm$	400
Rango mínimo	$cm$	1.7
Duración mínima del pulso de disparo	$\mu s$	10
Duración del pulso eco de salida	$\mu s$	100 - 25000
Tiempo mínimo de espera entre mediciones	$ms$	50
Dimensiones	$mm$	43x23x40

Cuadro 5: Características del sensor SRF05.

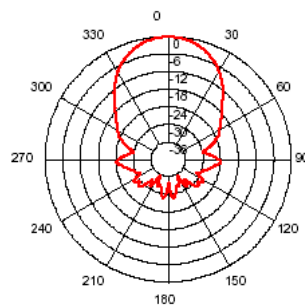


Figura 6: Haz ultrasónico del sensor SRF05.

<sup>5</sup><http://www.robot-electronics.co.uk/>

#### 0.4.2.2. Circuito de control

No necesitamos de un driver para manejar al sensor ya que lo conectamos directo a los 5 volts de la placa. El pin de *Mode* lo dejamos en estado bajo para indicar que debe funcionar bajo el nuevo modo y no en compatibilidad con el *SRF04*.

En el pin de *TRIGGER* sólo generamos un pulso de al menos  $10\mu s$  para desencadenar la lectura de la distancia al objetivo. El sensor nos asegura que no generará el pulso de respuesta hasta pasados los  $700\mu s$  desde pasado el pulso de trigger. En la figura 7 mostramos el diagrama de tiempos.

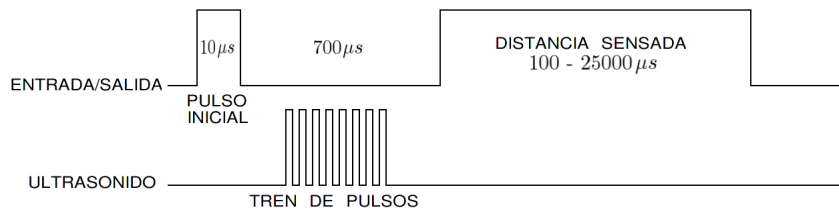


Figura 7: Diagrama de tiempos del sensor SRF05.

Para evitar que el rebote de otros sensores o sensados anteriores influya en la lectura, se debe esperar un mínimo de  $50ms$  antes de generar otra medición.

#### 0.4.2.3. Rutinas de control

Usamos uno de los pines con interrupción externa en el que conectamos el pin de *TRIGGER* y el timer de 16bits del microcontrolador configurado con el clock interno.

Para realizar la medición, generamos un pulso de  $15\mu s$  para asegurarnos el disparo del sensor y cambiamos el modo del pin a entrada con interrupción ante un flanco ascendente. Cuando salta la interrupción significa que comienza al pulso con la distancia codificada en su ancho, por lo que tomamos una muestra del timer y configuramos al pin para que genere ahora una interrupción ante un flanco descendente. Cuando salte la próxima vez la interrupción, será porque terminó el pulso con la medición, por lo que sólo debemos hacer la resta entre el valor actual del timer y la muestra que tomamos al principio para conocer la distancia a la que se encuentra el objetivo.

Un tiempo obtenido mayor a los  $25ms$  indica que no se detectó ningún objeto dentro del rango del sensor.

#### 0.4.3. Sensor reflectivo de piso

Estos sensores ópticos reflectivos emiten luz infrarroja y captan el nivel de luz reflejada sobre la superficie a sensar como mostramos en la figura 9. En la figura 8 mostramos las dimensiones del sensor. La intensidad de luz captada depende de la distancia al objetivo y del color y nivel de reflectividad de la superficie. Es por esto que usamos estos sensores para identificar una línea en el piso.

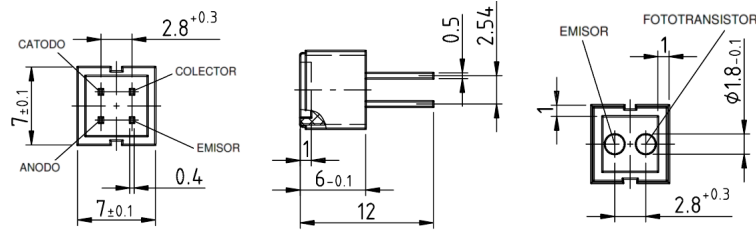


Figura 8: Medidas en milímetros del sensor CNY70.

#### 0.4.3.1. Características

Los sensores que elegimos son del modelo *CNY70* de la marca Vishay Semiconductor<sup>6</sup>.

El rango efectivo de sensado ronda los  $3\text{mm}$  de distancia aunque, con un incremento en la corriente que circula por el emisor se puede llegar a una distancia mayor a la recomendada por el fabricante y que nos permita un uso más acorde al proyecto. El emisor soporta un pulso de hasta  $3\text{A}$  por un tiempo menor o igual a  $10\mu\text{s}$ .

En la figura 10 mostramos la corriente que circula por el colector del fototransistor en base a la distancia al objeto medido.

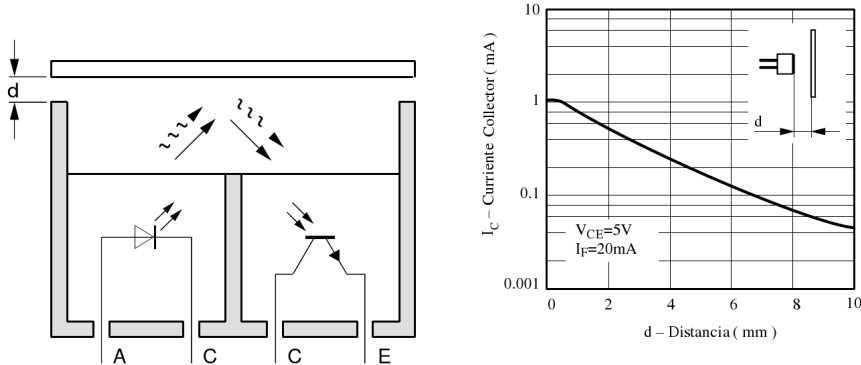


Figura 9: Principio de funcionamiento reflectivo del sensor CNY70.

Figura 10: Corriente en el colector según la distancia del sensor CNY70.

#### 0.4.3.2. Circuito de control

De igual forma que en los telémetros utilizamos un transistor como habilitación de la tensión de alimentación en el sensor. Esto nos dió la posibilidad de encenderlo y apagarlo a la hora de tomar las muestras de la luz reflejada por piso o la línea. Nuevamente la lógica de habilitación es invertida por tratarse de un transistor *BC327*.

Agregamos una resistencia para limitar la corriente que circulaba por el emisor y otra como pull-up en el emisor del fototransistor que a su vez, conectamos

<sup>6</sup><http://www.vishay.com/>



al módulo de *ADC* del microcontrolador para efectuar las mediciones.

#### **0.4.3.3. Rutinas de control**

El código que desarrollamos para obtener las muestras de estos sensores es sencillo, simplemente debemos habilitar el transistor que alimenta al sensor con un estado lógico bajo, tomar al menos 4 muestras y promediarlas para tener un valor adecuado del nivel de luz reflejado por la superficie. Luego deshabilitamos el sensor y enviamos el valor.

Debido al circuito que armamos con un nivel alto de reflexión leemos un valor bajo en el conversor analógico digital y con un nivel bajo de luz, un valor alto.

#### **0.4.4. Encoders**

Los encoders son sensores que convierten una posición lineal o angular en señal eléctrica o pulsos. Pueden determinar una posición de forma absoluta o simplemente informar que hubo un movimiento. El método de sensado y la resolución del ángulo de giro que detectan varía según el modelo.

##### **0.4.4.1. Características**

Los motores *MR-2FA* tienen encoders de cuadratura conectados al eje, previo a la caja reductora. Estos encoders son de tipo fotoeléctricos, están dispuestos a 135° uno del otro y marcan 4 estados por cada vuelta del motor. El motivo de esto es para poder conocer el sentido de giro midiendo la secuencia de estados de cada encoder. Adicionalmente el motor cuenta con un sensor de efecto Hall el cual nos permite detectar una revolución completa en el eje de salida de la caja reductora.

Como conocemos el sentido de giro del motor, pues lo determinamos con el puente H, necesitamos sólo uno de los dos encoders para conocer y controlar la velocidad a la que gira el rotor del motor.

A la tensión máxima los motores superan las 320 cuentas por segundo, el mínimo y máximo recomendables son, para que podamos mantener un giro constante, 60 y 300 cuentas por segundo respectivamente. Estos cálculos son usando uno de los dos fototransistores del encoder.

##### **0.4.4.2. Circuito de control**

Conectamos una resistencia pull-up a 5V para la salida de sensado de los fototransistores y del sensor de efecto Hall. También incluimos un switch doble inversor para elegir cuál de los dos encoders usar. El punto común del switch está conectado al pin de entrada de clock externo de uno de los timers del microcontrolador.

La alimentación de los encoders es directa y permanecen encendidos en todo momento.

##### **0.4.4.3. Rutinas de control**

Como explicamos en la sección 0.3.1.3, en cada interrupción del timer actualizamos el histórico de cuentas del motor adicionando o restando el último valor del contador.

También comparamos contra las cuentas esperadas por intervalo de tiempo que fueron determinadas desde el controlador principal para poder determinar si debemos incrementar o disminuir la potencia del motor y por ende la velocidad de las ruedas.

#### 0.4.5. Sensado de la batería

El sensado del nivel de tensión en la batería lo hacemos mediante un divisor de tensión entre los polos de la batería. La salida del divisor es sensada de igual forma que los otros sensores, mediante el módulo de *ADC* del microcontrolador. En la figura 11 mostramos el diagrama del divisor de tensión.

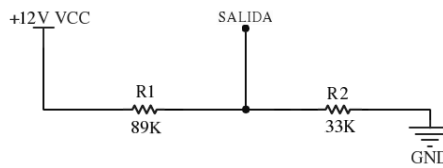


Figura 11: Divisor de tensión para el sensado de la batería.

En el cuadro 6 mostramos las posibles tensiones en la batería y la tensión de salida en el divisor. También incluimos el valor aproximado para el ADC con tensión de referencia a  $5V$  que leería la salida del divisor. El rango de voltajes que analizamos es teniendo en cuenta la posibilidad de efectuar mediciones durante la carga de la batería y sabiendo que con una tensión menor a  $5V$  la lógica del prototipo que construimos comenzaría a fallar.

Batería (V)	Salida (V)	Valor en el ADC
16	4.327	886
15	4.057	831
14	3.786	776
13	3.516	720
12	3.245	665
11	2.975	609
10	2.704	554
9	2.434	499
8	2.163	443
7	1.893	388
6	1.623	332
5	1.352	277

Cuadro 6: Tensión de la batería y la tensión de salida en el divisor.

La conexión es simple, los cables de entrada del divisor los conectamos a los polos de la batería y la salida al ADC. Luego sólo debemos realizar las lecturas en el ADC y promediarlas para poder realizar los cálculos de la tensión en la batería.

#### 0.4.6. Consumo del motor

El consumo de los motores de corriente continua lo medimos leyendo el pin de sensado que se encuentra en el puente H que alimenta al motor. Lo que medimos con el módulo de *ADC* del microcontrolador es la tensión en este pin. Ésta depende de la caída de tensión en la resistencia conectada a masa y de la corriente que circula por el motor. Conociendo el valor de la resistencia podemos calcular el consumo del motor. En el cuadro 7 comparamos el consumo en el motor, el voltaje sensado y la lectura en el ADC.

Tensión (V)	Consumo (A)	Valor en el ADC
0	0	0
0,09	0,19	18
0,18	0,38	36
0,27	0,57	55
0,36	0,76	73
0,45	0,95	92
0,54	1,14	110
0,63	1,34	129
0,72	1,53	147
0,81	1,72	165
0,90	1,91	184
0,99	2,10	202
1,08	2,29	221
1,17	2,48	239

Cuadro 7: Tabla comparativa para el consumo del motor.

##### 0.4.6.1. Pulsador u otro dispositivo disparador

Además de los sensores que describimos, pensamos que nos podrían hacer falta pulsadores para controlar funciones simples. Por ejemplo saber cuándo una parte de algún mecanismo llega a cierto punto o detectar finales de carrera de un servo o tornillo sin fin. También pueden ser otro tipo de sensores que generen un cambio de estado en el pin de sensado que se conecta al microcontrolador.

Agregamos la posibilidad de usarlos en las distintas placas como explicamos en detalle en las secciones 0.7.3 y 0.7.4.

##### 0.4.6.2. Rutinas de control

La lectura en el estado de los pulsadores puede ser bajo demanda con sólo leer el estado del pin en el que están conectados o puede ser ante una interrupción por cambio de estado. Estas cuestiones las tuvimos en cuenta a la hora de diseñar las placas.

#### 0.5. Controladores

Todas las funciones del robot las debíamos controlar mediante algún tipo de dispositivo. Decidimos utilizar una netbook y microcontroladores para esta tarea. Estas cuestiones son las que explicamos en este capítulo.

### 0.5.1. Netbook

Elegimos como controlador principal la netbook *EeePC 1005-HA* de la marca Asus<sup>7</sup>. Como características principales cuenta con un procesador Intel<sup>8</sup> Atom N280 1.66 GHz, 1GB DDR-2, un disco de 250GB, una pantalla de 10 pulgadas y una batería de 48Wh que nos da una autonomía de aproximadamente 8 horas. Cuenta con una cámara integrada de 0.3MP, placa de red inalámbrica y ethernet, placa de sonido y 3 puertos USB. Pesa aproximadamente 1.27Kg y sus dimensiones son 26,2 x 17,8 x 3,7 centímetros.

Usamos Ubuntu<sup>9</sup> como sistema operativo y programamos tanto la lógica de comportamientos como la captura y análisis de imágenes en C/C++.

### 0.5.2. Microcontrolador

Para el control de la velocidad de los motores, lectura de los encoders y los sensores de distancia usamos un microcontrolador. En nuestro diseño contemplamos la existencia de varios módulos con una o pocas funciones simples que se comunicaran con el controlador principal, que para nuestro prototipo la netbook. La razón por la cual lo armamos así fue para simplificar cada placa controladora a nivel software y hardware.

Explicamos la comunicación entre los distintos controladores en la sección 0.6.

#### 0.5.2.1. Características

El microcontrolador que elegimos para realizar las tareas de control, configuración y comunicación a bajo nivel es el *PIC16F88* de Microchip<sup>10</sup>. Cuenta con una arquitectura de memoria del tipo Harvard, con una memoria *FLASH* para 4096 instrucciones de programa, una memoria *RAM* de 368 bytes y una memoria *EEPROM* de 256 bytes. Tiene un set de instrucciones básicas reducido y todas con el mismo tiempo de ejecución. En este apartado nombramos algunos de los principales periféricos incluidos en el microcontrolador y la utilidad dentro del proyecto que encontramos para ellos. Utilizamos con un cristal externo de 20MHz como clock.

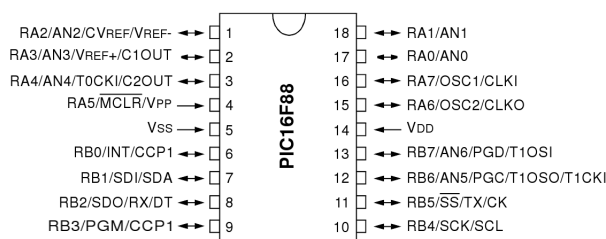


Figura 12: Diagrama del microcontrolador PIC16F88.

El microcontrolador tiene 2 puertos de 8 entradas y salidas cada uno de

<sup>7</sup><http://www.asus.com/>

<sup>8</sup><http://www.intel.com/>

<sup>9</sup><http://www.ubuntu.com/>

<sup>10</sup><http://www.microchip.com/>

tipo TTL y CMOS. Como mostramos en la figura 12 cada pin se encuentra multiplexado con uno o más periféricos internos.

### 0.5.2.2. Módulos internos

Internamente el microcontrolador tiene una serie de periféricos que proveen funciones extras y que utilizamos para lograr cumplir con las necesidades de nuestro proyecto. En la figura 13 mostramos los distintos módulos internos del microcontrolador.

Cuenta con 3 timers, 2 de 8bits (*TIMER0* y *TIMER2*) y 1 de 16bits (*TIMER1*). Podemos configurarlos para que tomen al clock del microcontrolador o que tomen una fuente externa de clock. También podemos aplicarles demultiplicadores que generan un clock de menor frecuencia al que se usa como entrada. Pueden ser etapas previas o posteriores al timer y nos dan gran flexibilidad de uso.

El *TIMER0* lo utilizamos para hacer control del tiempo en nuestros códigos. Conectados con el clock principal y configurados para que generen una interrupción al hacer overflow, obtenemos una buena medida del paso del tiempo.

El *TIMER1* configurado como fuente externa a la salida del encoder, lo usamos como contador de pasos para medir la velocidad del motor. También lo usamos como medición del tiempo para hacer las lecturas de los sensores. Elegimos a este timer ya que al ser de 16bits posee un mayor rango de valores y por lo tanto, podíamos medir un mayor lapso de tiempo o cuentas del encoder en cada caso.

El *TIMER2* lo usamos en conjunto con el módulo de *PWM* para determinar el ancho del pulso que habilita al puente H que provee de energía a los motores.

El módulo conversor analógico digital nos dió la posibilidad de medir tensiones analógicas como por ejemplo las salidas de los sensores, tensión en la batería o el consumo de los motores. Tiene 7 canales o pines distintos y podemos configurarlo para que genere un valor de 8 o 10bits. También podemos determinar si se debe usar el valor de *Vcc* y *GND* como referencia o podemos proveer de forma externa de los voltajes de referencia para generar un rango de voltajes diferente y aumentar o disminuir así la resolución del conversor.

El módulo de *PWM* nos provee la posibilidad de generar pulsos continuos de un ancho determinado. En nuestro proyecto lo utilizamos como habilitación del puente H que alimenta a los motores variando así la potencia y por lo tanto, la velocidad final de las ruedas. Se utiliza en conjunto con el *TIMER2* seteando el prescaler y postscaler para determinar el ancho del estado alto y del estado

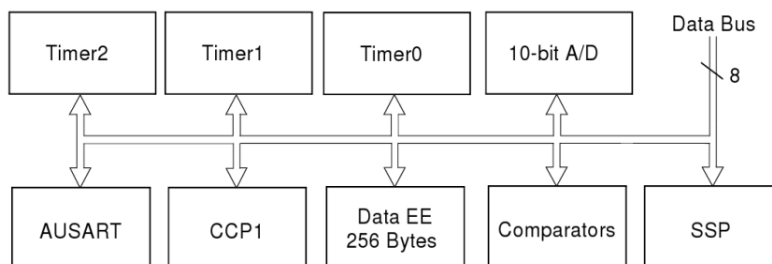


Figura 13: Módulos internos del microcontrolador PIC16F88.

Pines	Señal
1 y 2	MCLR
3 y 4	5V VCC
5 y 6	GND
7 y 8	PGD (Data)
9 y 10	PGC (Clock)

Cuadro 8: Pines de programación en circuito con *ICD2*.

bajo de los pulsos.

Gracias al módulo de *AUSART* podemos realizar la comunicación entre los distintos microcontroladores por hardware. Este periférico nos provee una comunicación sincrónica o asincrónica dependiendo de la configuración. Creamos la red de *Daisy-Chain* sobre el protocolo de RS-232.

El microcontrolador dispone de otros periféricos como un comparador *CCP* y comunicación sincrónica *SPI*. Utilizamos los pines de uso general para realizar otras funciones como habilitación, conmutación o las señales de *PWM* por software para determinar la posición de los servo motores, por ejemplo.

### 0.5.2.3. Programación del firmware

Para crear el firmware de cada microcontrolador usamos al IDE de programación *Microchip MPLAB*<sup>11</sup>. Usamos el lenguaje C y lo compilamos con *CCS PCM V4.023*<sup>12</sup>. Usamos el programador *ICD2* de la empresa *Microchip* para descargar código compilado al microcontrolador. El cual, a su vez, nos dió la posibilidad de depurar el código en más de una oportunidad.

En el cuadro 8 detallamos el header de programación en circuito, con el cual establecemos la interface con el programador *ICD2* para cargar el firmware en el microcontrolador o para depurarlo.

## 0.6. Comunicación

La comunicación interna entre los controladores de cada periférico y el controlador principal, donde concentramos la lógica de los comportamientos, era vital. Para poder tomar las decisiones adecuadas la telemetría debía tener toda la información requerida, la frecuencia suficiente para que las reacciones sean lo más dinámicas y rápidas posibles y poseer la menor cantidad de errores para evitar retransmisiones.

En esta sección analizamos todo lo referente al medio de transmisión, protocolo y comandos que forman parte de la comunicación interna entre módulos.

### 0.6.1. Conectividad entre módulos

Para establecer el canal de comunicaciones decidimos emplear una configuración basada en el método *Daisy-Chain*<sup>13</sup> entre los controladores. Creando un

<sup>11</sup><http://www.microchip.com/>

<sup>12</sup><http://www.ccsinfo.com/>

<sup>13</sup>Patente US20090316836A1

anillo donde cada nodo de la cadena se comunica con su vecino retransmitiendo cada paquete hasta su destinatario como mostramos en la figura 14.

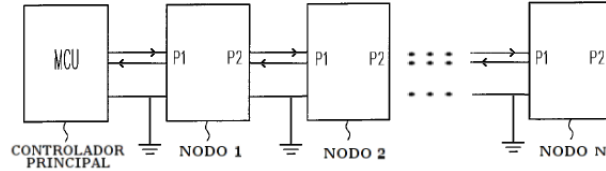


Figura 14: Diagrama general del método Daisy-Chain

La configuración que elegimos para realizar la comunicación fue una velocidad de 115200 baudios, 8 bits, con 1 bit de parada, sin bit de paridad y sin control de flujo. Logramos una gran velocidad de respuesta a los comandos de esta forma.

En los cuadros 9 y 10 especificamos el conexionado entre las placas y contra el controlador principal.

Función	Conector RJ11	Conector RJ11	Función
Serial RX	2	2	Serial TX
Serial TX	3	3	Serial RX
No conectado	4	4	No conectado
GND	5	5	GND

Cuadro 9: Conexionado entre placas en modo Link

Función	Conector RJ11	Conector DB9	Función
Serial RX	2	3	Serial TX
Serial TX	3	2	Serial RX
No conectado	4	4	Shield
GND	5	5	GND

Cuadro 10: Conexionado entre placa y la PC

Como terminación de la cadena, debemos colocar una ficha nula que interconecte *TX* con *RX* o cambiar el switch de configuración de *LINK* a *LAST*.

### 0.6.2. Protocolo de comunicación

El protocolo de comunicación está formado por paquetes que tienen un formato específico y representan un pedido de información o comando que debe ser ejecutado en el destino.

El paquete consta de un header común con datos que identifican al emisor y receptor del paquete, el comando a enviar y posibles datos extras que sean requeridos. Todos los paquetes tienen una respuesta obligatoria de confirmación de recepción. Cuando el paquete requiere una respuesta con datos, la confirmación va acompañada de la información requerida. En el cuadro 11 mostramos la estructura interna de un paquete típico.

LARGO	DESTINO	ORIGEN	COMANDO	DATO	CRC
-------	---------	--------	---------	------	-----

Cuadro 11: Formato y header del paquete de datos

Tanto los paquetes de envío de datos como los de respuesta tienen el mismo formato y comparten el valor en el campo de comando.

El campo *LARGO* indica el tamaño en bytes del paquete que viene a continuación, consta de 1 byte. Es necesario porque el campo *DATO* es de longitud variable. Si la longitud del campo *DATO* es cero, entonces *LARGO* es 0x04.

El campo *DESTINO* identifica al destinatario del paquete y consta de 1 byte. Los 4 bits más significativos indican el grupo y los 4 bits menos significativos, el número de *ID* de la placa de destino. Si el *ID* de placa es F, el paquete es broadcast a todos los *IDs* del grupo indicado y si el valor es 0xFF, el paquete es broadcast a todas las placas de todos los grupos. En el cuadro 12 establecemos el *ID* de cada grupo.

De igual forma, *ORIGEN* determina el emisor del paquete para la respuesta y es de 1 byte. Los 4 bits más significativos indican el grupo y los 4 bits menos significativos, el número de *ID* de la placa de origen. Los valores permitidos son del 0 al E, ya que F indica broadcast y no es válida una respuesta broadcast.

El campo *COMANDO* informa al destinatario la tarea a realizar o determina un pedido de información que puede o no tener parámetros. Ocupa 1 byte.

El campo *DATO* contiene los parámetros o datos extras que puedan ser necesarios para el comando enviado. En el caso que el comando no los requiera, el campo debe ser nulo y el campo *LARGO* será 0x04.

El control de errores lo realizamos mediante un checksum calculado, haciendo un *XOR* con cada byte del contenido del paquete y colocándolo en el campo *CRC*. Cuando un paquete se encuentre con errores o esté mal formado, el destinatario debería pedir la retransmisión. De igual forma, creímos necesaria la creación de un control adicional por medio de una lista de paquetes no confirmados mantenida por el controlador principal para evitar la pérdida de comandos.

Grupo	ID
MAIN CONTROLLER	0x00
DC MOTOR	0x10
SERVO MOTOR	0x20
DISTANCE SENSOR	0x30
BATTERY CONTROLLER	0x40
TRASH BIN	0x50
-BROADCAST-	0xF0

Cuadro 12: ID para cada grupo según su función.

#### 0.6.2.1. Comandos comunes

Creamos comandos que son comunes a cualquier placa sea cual sea su grupo. La intención fue poder tener un espacio de comunicación común para poder



intercambiar comandos de inicialización, identificación de controladores, versionado o alguna otra necesidad genérica que se desarrolle en un futuro y deba ser incluida en el protocolo. El controlador principal debería ser quien envía este tipo de comandos, pero no creamos restricciones al respecto.

En el cuadro 13 listamos y explicamos brevemente los comandos comunes del protocolo.

Valor	Comando	Detalle
0x01	INIT	Sincroniza el inicio de todas las placas en la cadena. Responde con los datos necesarios para identificar a la placa en la cadena.
0x02	RESET	Pide el reset de la tarjeta. Responde de igual forma que a <i>INIT</i> .
0x03	PING	Envía un ping a la placa.
0x04	ERROR	Informa que ha habido un error. Más información sobre el error viaja en el campo de <i>DATO</i> y depende del grupo de origen.

Cuadro 13: Comandos comunes a todos los controladores.

#### 0.6.2.2. Comandos específicos

Cada grupo de placas tiene comandos propios y específicos dependiendo de la función que deban desempeñar en el sistema. Existen grupos con comandos predefinidos cada uno se trata en las secciones como se detalla en el cuadro 12. Los comandos específicos para cada grupo deben estar dentro del rango de valores entre 0x40 y 0x7E.

El *MAIN CONTROLLER* no posee por ahora ningún comando específico pero le reservamos el espacio en el protocolo. En el cuadro 14 enumeramos los comandos para el controlador *DC MOTOR*. El controlador *SERVO MOTOR* responde a los comandos del cuadro 15. En el cuadro 16 listamos los comandos del controlador *DISTANCE SENSOR*. De igual forma, aunque no estén implementados, reservamos y especificamos los comandos para *BATTERY CONTROLLER* y *TRASH BIN* en los cuadros 17 y 18 respectivamente.

Para más referencias recomendamos ver el apartado A.

### 0.7. Placas controladoras

Las funciones y requerimientos de nuestro proyecto tenían partes que eran comunes a otros trabajos en robótica o quizás de electrónica general. Pero tenían peculiaridades y aspectos que no pudimos satisfacer con placas prefabricadas. Por ejemplo, un protocolo de comunicación unificado entre todos los módulos era, de entrada, una barrera que acotaba las posibilidades. Y mantener distintos modos y protocolos dentro del proyecto generaba una carga de lógica que podíamos evitar.

Analizando las posibilidades y entendiendo que una de las principales razones de nuestro trabajo era generar las bases de conocimiento y el punto de partida a un proyecto más grande, decidimos producir nuestra propia versión de placas controladoras.

Valor	Comando	Detalle
0x40	SET DIREC- TION	Seteo del sentido de giro del motor. Envía el sentido de giro como parámetro.
0x41	SET DC SPEED	Seteo de la velocidad del motor. Envía el sentido de giro y velocidad en cuentas por segundos como parámetro.
0x42	SET ENCO- DER	Seteo de las cuentas históricas del encoder. Envía como parámetro el valor para setear en el histórico del encoder.
0x43	GET ENCO- DER	Obtener las cuentas históricas del encoder. Responde con el valor histórico del encoder.
0x44	RESET ENCO- DER	Resetear las cuentas históricas a cero.
0x45	SET ENCO- DER TO STOP	Seteo de cuántas cuentas para detenerse. Envía como parámetro la cantidad de cuentas del encoder restantes para que el motor se detenga.
0x46	GET ENCO- DER TO STOP	Obtener las cuentas restantes hasta detenerse. Responde con la cantidad de cuentas del encoder restantes para que el motor se detenga.
0x47	DONT STOP	Deshabilita el conteo de cuentas para frenar.
0x48	MOTOR CON- SUMPTION	Consulta sobre el consumo actual del motor. Responde con el consumo promedio del último segundo.
0x49	MOTOR STRESS ALARM	Alarma sobre un consumo extremo en el motor. Responde con el consumo ante el cuál se disparó la alarma.
0x4A	MOTOR SHUT DOWN ALARM	Alarma informando que el motor se apagó. Envía el consumo ante el que se disparó la alarma.
0x4B	GET DC SPEED	Obtiene la velocidad en cuentas del encoder por segundo. Envía el sentido y velocidad de giro del motor.

Cuadro 14: Comandos específicos al *DC MOTOR*.

Valor	Comando	Detalle
0x40	SET POSITION	Determina la posición del servo motor indicado. Envía el <i>ID</i> del servo y la posición del eje como parámetro.
0x41	SET ALL POSITIONS	Setea las posiciones de cada uno de los servo motores. Envía las posiciones para cada uno de los 5 servos como parámetro.
0x42	GET POSITION	Obtiene la última posición del servo motor indicado. Envía como parámetro el <i>ID</i> del servo del que se quiere la posición y recibe el <i>ID</i> del servo y la posición del eje.
0x43	GET ALL POSITIONS	Obtiene todas las últimas posiciones de los servo motor. Responde con la posición para cada uno de los 5 servos.
0x44	SET SERVO SPEED	Setea la velocidad para el servo motor indicado. Envía como parámetro el <i>ID</i> del servo y la velocidad a setear.
0x45	SET ALL SPEEDS	Setea la velocidad para cada servo motor. Envía como parámetro la velocidad a setear para cada uno de los servos.
0x46	GET SERVO SPEED	Obtiene la velocidad para el servo motor indicado. Envía como parámetro el <i>ID</i> del servo y responde con <i>ID</i> y velocidad del servo.
0x47	GET ALL SPEEDS	Obtiene las velocidades de cada uno de los servo motores. Responde con la velocidad de cada uno de los servo motores.
0x48	FREE SERVO	Deja de aplicar fuerza sobre el servo indicado. Envía como parámetro el <i>ID</i> del servo a liberar.
0x49	FREE ALL SERVOS	Deja de aplicar fuerza sobre cada uno de los servo motores.
0x4A	GET STATUS	Obtiene el estado de cada uno de los switches. Responde con la 1 byte con el estado de cada switch.
0x4B	ALARM ON STATE	Establece si se desea recibir alarmas por cambio de estado. Envía como parámetro el <i>ID</i> y tipo de cambio en el switch.
0x4C	SWITCH ALARM	Alarma ante un cambio de estado programado. Envía como parámetro el <i>ID</i> y estado del switch que provocó el comando.

Cuadro 15: Comandos específicos al *SERVO MOTOR*.

Valor	Comando	Detalle
0x40	ON DISTANCE SENSOR	Enciende el sensor de distancia enviado como parámetro.
0x41	OFF DISTANCE SENSOR	Apaga el sensor de distancia enviado como parámetro.
0x42	SET DISTANCE SENSORS MASK	Habilita o no los sensores para lecturas. Envía 1 bit por cada <i>ID</i> del sensor a habilitar o deshabilitar.
0x43	GET DISTANCE SENSORS MASK	Obtiene la máscara de lectura. Responde con 1 bit por cada <i>ID</i> del sensor.
0x44	GET VALUE	Obtiene el valor promedio de la entrada de los sensores indicados. Envía 1 bit por cada <i>ID</i> del sensor y responde con los valores de lectura promedio de cada sensor.
0x45	GET ONE VALUE	Obtiene el valor de la entrada del sensor indicado. Envía 1 bit por cada <i>ID</i> del sensor y responde con los valores de lectura de cada sensor.
0x46	ALARM ON STATE	Setea el tipo de cambio de estado del switch para la alarma. Envía como parámetro el tipo de cambio de estado.
0x47	SWITCH ALARM	Alarma informando que fue satisfecha la condición. Envía como parámetro el tipo de cambio y estado actual del switch.

Cuadro 16: Comandos específicos al *DISTANCE SENSOR*.

Aunque iban a tener un uso bien definido dentro de nuestro trabajo, también creímos necesario que tuvieran un nivel de generalidad suficiente como para poder utilizarlas en otros proyectos con mínimos cambios, adelantando así mucho trabajo a futuro.

La modularización fue un factor importante y muy presente durante todo el desarrollo. En este apartado explicamos el diseño, desarrollo, programación y especificaciones de las distintas placas que creamos durante nuestro proyecto.

#### 0.7.1. Placa genérica

Durante el diseño nos surgió la necesidad de establecer un módulo común de comunicación y una base de prueba para los tests con los distintos sensores y periféricos que utilizaríamos en el robot. Es por ésto que luego de pruebas aisladas, creamos una placa para estas cuestiones. Nos ayudó y aceleró en gran medida el diseño de las placas definitivas y nos dió la posibilidad de diseñar futuras actualizaciones a nuestro proyecto.

##### 0.7.1.1. Características principales

La necesidad principal era proveer de una interface común entre todas las placas para la comunicación y exportar los puertos y periféricos del microcontrolador que elegimos a circuitos nuevos. Ésto nos sirvió para realizar pruebas

Valor	Comando	Detalle
0x40	ENABLE	Habilita la alimentación del robot mediante la batería.
0x41	DISABLE	Deshabilita la alimentación del robot mediante la batería.
0x42	GET BATTERY VALUE	Obtiene el valor de la entrada de la batería. Responde con la lectura de la tensión en la batería.
0x43	BATTERY FULL ALARM	Mensaje informando que se completado la carga.
0x44	SET BATTERY EMPTY VALUE	Valor de la batería crítico. Envía la lectura de los volts de la batería.
0x45	BATTERY EMPTY ALARM	El voltaje llegó a un valor crítico. Envía la lectura de los volts de la batería.
0x46	SET FULL BATTERY VALUE	Establece el valor para la carga completa. Envía la lectura de la tensión en la batería.

Cuadro 17: Comandos específicos al *BATTERY CONTROLLER*.

Valor	Comando	Detalle
0x40	GET TRASH BIN VALUE	Consulta que tan lleno está el cesto de basura. Responde con el valor que representa el estado del cesto interno.
0x41	BIN FULL ALARM	El cesto de basura se ha completado y debe ser descargado.
0x42	SET FULL BIN VALUE	Setea el valor para determinar que el cesto está lleno. Valor que especifica que lectura se debe tomar como cesto lleno.

Cuadro 18: Comandos específicos al *TRASH BIN*.

de concepto para la conexión con los sensores, valores de componente pasivos ideales, comportamiento e interacción entre placas, optimización del código del firmware o crear nuevas expansiones.

#### 0.7.1.2. Módulo de comunicación

Como explicamos en la sección 0.6 para la comunicación nos basamos en el modelo de *Daisy-Chain* sobre una capa de transporte de *RS232*.

Los conectores y configuración son comunes y utilizamos dos tipos de conectores para realizar la interconexión entre las placas. Como mostramos en la figura 15 usamos conectores *RJ11* para generar el lazo entre nodos de la cadena y el conector *DB9* para la conexión con la PC. En los cuadros 9 y 10 explicamos, respectivamente, el conexionado para cada caso.

Para determinar si la placa es un nodo más dentro de la cadena o es la terminación, colocamos una llave de dos posiciones que setea la configuración. En la posición *LINK* la placa actúa como nodo intermedio y en la posición

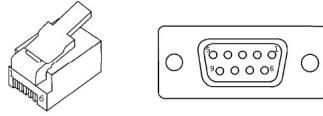


Figura 15: Conectores RJ11 (6P4C) y DB9.

Pin	Voltaje
1	GND
2	5V
3	7V a 12V

Cuadro 19: Alimentación de la lógica

*LAST* como terminación.

Es de vital importancia colocar en forma la correcta esta llave porque podemos dejar sin conexión al resto de las placas o mismo perder todos los paquetes transmitidos al no cerrar la cadena en el final de la misma.

#### 0.7.1.3. Alimentación de la placa

La alimentación principal de la placa es 7 a 20 volts, con la posibilidad de alimentarla directamente con 5 volts por uno de los pines del conector. En la figura 16 mostramos la bornera y en el cuadro 19 el pinout.



Figura 16: Bornera de alimentación.

La regulación interna de voltaje la realizamos por medio de un regulador 7805 y tiene una corriente máxima de 1A.

#### 0.7.1.4. Configuración

La fila de pines *P2* exporta todos los pines con funciones dentro del microcontrolador, para realizar conexiones con periféricos de prueba o nuevas extensiones. Los headers *P3* y *P4* son jumpers que vinculan los pines *RA1* y *RA4* del microcontrolador los leds 1 y 2 respectivamente.

El header de programación *P1* lo utilizamos para conectar la placa con el programador y debuguear el código *ICD2* como explicamos en el apartado 0.5.2.3. El switch *S2* lo usamos para asociar los pines del microcontrolador con los canales de clock y data del header de programación (modo *ICD2*) o con los pines *RB6* y *RB7* del header *P2*.

#### 0.7.1.5. Esquemático

En la figura 17 mostramos el esquemático del microcontrolador y el conexasiónado con los headers; el módulo de comunicación y conectores para conformar

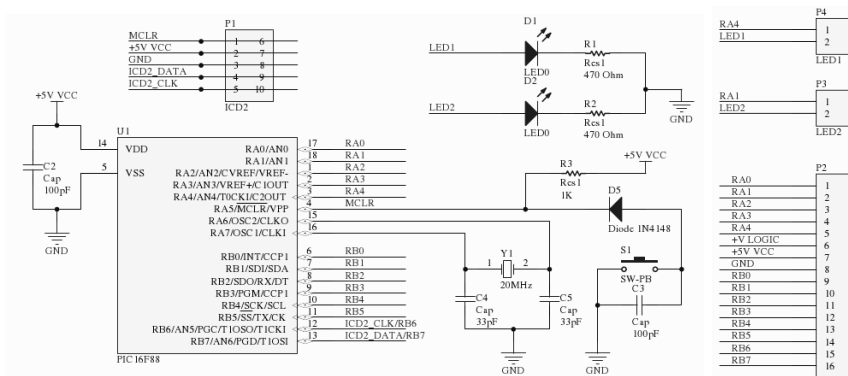


Figura 17: Microcontrolador y headers

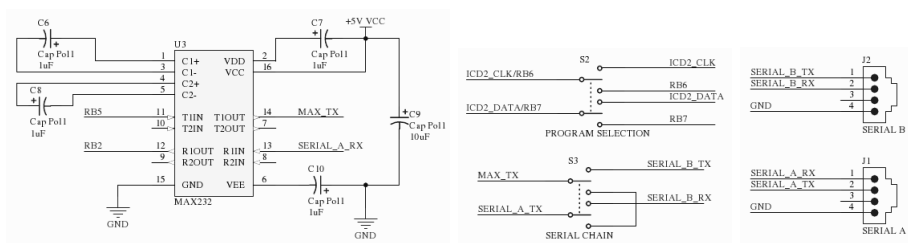


Figura 18: Comunicación, switch de modo y conectores de entrada y salida

la cadena *Daisy-Chain* los detallamos en la figura 18. En la figura 19 mostramos el diagrama de la fuente de alimentación y bornera.

### 0.7.1.6. Circuito

En la figura 20 mostramos la máscara de componentes de la placa y en la figura 21 ambas capas de la placa.

#### 0.7.1.7. Código básico

Según el uso que le fuimos dando a las placas genéricas fuimos cambiando el código del firmware que le íbamos cargando, pero siempre manteníamos partes básicas que nos ayudaban.

Éstas principalmente incluían la configuración de flags de configuración base

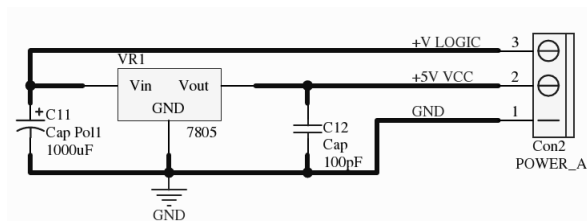


Figura 19: Fuente de alimentación

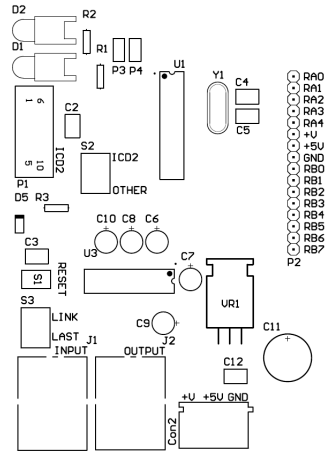


Figura 20: Máscara de componentes de la placa genérica.

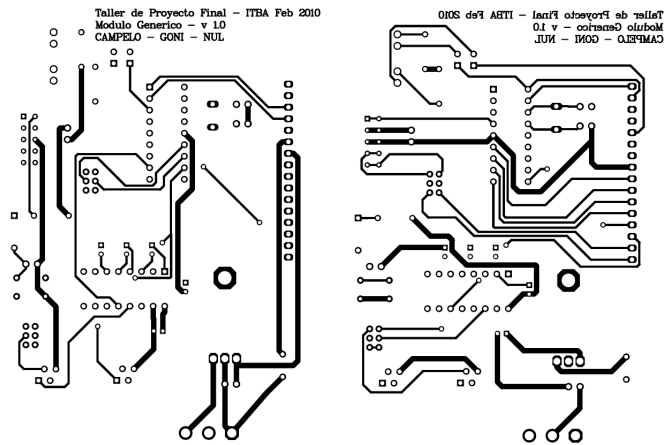


Figura 21: Capas superior e inferior de la placa genérica.



del microcontrolador, desde la velocidad del clock para los cálculos de tiempos hasta determinar que pines eran mapeados a las funciones de RX y TX para la comunicación serial.

Para hacer pruebas sobre la comunicación RS232 o del protocolo, armamos maquetas para las funciones que atienden a los comandos específicos y funciones de control del protocolo comunes para todas las placas. También generamos un modelo general del programa, con un loop principal y llamadas inicializadoras. De esta sólo nos concentrábamos en la prueba que estábamos realizando.

#### **0.7.1.8. Posibles extensiones**

Son varias las extensiones que se podrían realizar a estas placas pero teniendo en cuenta que debían ser lo más genéricas posibles como para probar nuevas funcionalidades o componentes, creemos que aportan mucho valor en la fase de testeo; sin embargo usar componentes de montaje superficial nos hubieran permitido tener una placa más compacta.

#### **0.7.2. Placa controladora de motores DC**

Nuestro proyecto implicaba, entre otras cosas, el diseño y construcción de un robot móvil el cual debía poder trasladarse por el terreno como primer requerimiento. Y debido a que el desplazamiento iba a ser mediante ruedas, el control de los motores que las impulsaran era crítico.

Creamos una placa especializada para esta tarea sobredimensionando los requerimientos para no tener acotadas las opciones a futuro sobre qué modelo de motores usaríamos.

En este apartado explicamos los aspectos que tuvimos en cuenta para diseñar y crear la placa controladora de motores de corriente continua para el robot.

##### **0.7.2.1. Características principales**

La función principal, es entre otras, mantener una velocidad estable en el motor de continua, pero también poder sensar la cantidad y sentido del movimiento que realizó la rueda, informar el consumo y poder determinar el desplazamiento a realizar. Este último requerimiento era de vital importancia si queríamos tener precisión en el movimiento que realizaría la rueda ya que este control de rápida respuesta hubiera sido imposible hacerlo desde el controlador principal.

Todos los comandos desde y hacia el controlador principal viajan por la red de comunicación como explicamos en la sección 0.6 colocándose como un eslabón más en la cadena. Usamos como base la placa genérica que explicamos en la sección 0.7.1 y agregamos el circuito necesario para el control del motor como explicamos en el punto 0.7.2.6.

##### **0.7.2.2. Comunicación**

Al utilizar la placa genérica como base mantuvimos la sección de comunicación de la misma intacta, pues en principio, era un módulo probado y funcional, además manteníamos la misma estructura física que facilitaba el conexionado para futuros usuarios.

Como explicamos en la sección 0.6.2.2 esta placa responde a comandos específicos listados en el cuadro 14. La principal información disponible mediante

Pin	Voltaje
1	GND
2	12v (depende del motor)

Cuadro 20: Pines de alimentación del motor.

estos comandos es la velocidad de la rueda en cuentas del encoder por segundo, el sentido de giro y el histórico de cuentas realizadas. Podemos enviar comandos para setear estos valores y otros, como la cantidad de cuentas del encoder y a qué velocidad debe girar la rueda debe hacerlo.

También podemos leer la cantidad de cuentas restantes antes de frenar y el consumo actual del motor para hacer cálculos sobre el tiempo restante de batería.

### 0.7.2.3. Alimentación de la placa

Como explicamos en la sección 0.7.1, la alimentación principal de la lógica es de 7 a 20 volts, con la posibilidad de alimentarla directamente con 5 volts por uno de los pines del conector. La alimentación del motor es por una bornera de 2 pines como listamos en el cuadro 20, aislada completamente para disminuir así el ruido generado por el funcionamiento del motor sobre la lógica.

Como la alimentación del motor se hace mediante el *punte H*, no puede superar los 46V que es el máximo que puede operar el *L298*.

Cabe aclarar también que al estar ambos circuitos completamente aislados, se necesita unificar ambas masas para establecer un punto de referencia común y así poder ejercer el control del *punte H* y la lectura del consumo, de forma correcta. Recomendamos hacer esto lo más cerca posible de la batería para disminuir al máximo el ruido que pueda generarse debido a los motores.

### 0.7.2.4. Configuración

La configuración de la placa es relativamente sencilla. Antes que nada debemos determinar el rol de la placa dentro de la cadena de comunicación, esto lo hacemos mediante el switch *S3*. Podemos colocarlo en modo *LINK* para que sea un eslabón más o en modo *LAST* para que sea la terminación de la cadena.

El header del motor comunica la placa con el motor de continua, en el cuadro 21 detallamos la posición de los pines.

Las señales *MOTOR\_B* y *MOTOR\_A* son para la alimentación del motor, dependiendo del sentido de circulación de la corriente entre estos pines será el sentido de giro del motor. Ésto se controla desde el puente H *L298*.

Los sensores dentro del motor reciben tensión mediante los pines 5V *VCC* y *GND*. La señal *IDX* genera pulsos según las vueltas en el eje de salida de la caja de reducción del motor. En cambio las señales *Encoder\_A* o *Encoder\_B* generan pulsos en base a las vueltas del motor antes de entrar en la caja.

El switch *S2* lo utilizamos para asociar los pines del microcontrolador con el canal de datos del header de programación, que explicamos en la sección 0.5.2.3, modo *ICD2* o con la señal de lectura del encoder.

La señal del encoder proviene a su vez del switch *S4*, el cual nos da la posibilidad de elegir entre alguna de las dos señales *Encoder\_A* o *Encoder\_B*.

Pin	Señal	Pin	Señal
1	MOTOR_B	2	MOTOR_A
3	IDX	4	-
5	ENCODER_B	6	GND
7	ENCODER_A	8	GND
9	5V VCC	10	GND

Cuadro 21: Pines del header de comunicación con el motor.

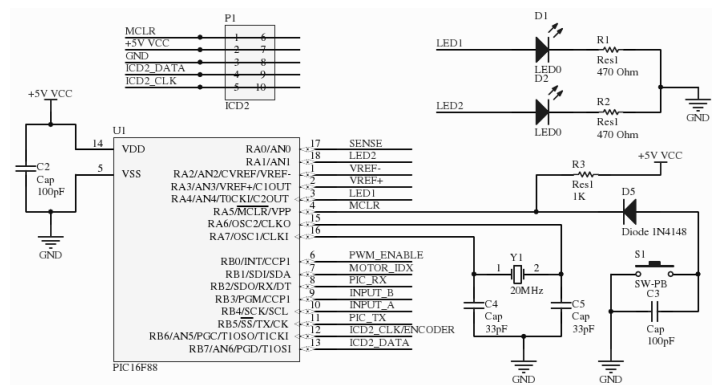


Figura 22: Microcontrolador y header de programación.

Podemos usar a los pines  $P2$  y  $P3$  para tomar como referencia del conversor analógico digital a  $GND$  y  $VCC$ , o al divisor de tensión formado por las resistencias  $R5$  y  $R6$ .

#### 0.7.2.5. Esquemático

En la figura 22 mostramos el esquemático del microcontrolador y el conectado el header de programación. En la figura 23 detallamos el módulo de comunicación y el conexionado con los conectores entre placas. En la figura 24 el esquemático del driver y el header del motor. En la figura 25 mostramos los pines del divisor de tensión para el conversor analógico digital y en la figura 26 la fuente de alimentación y borneras.

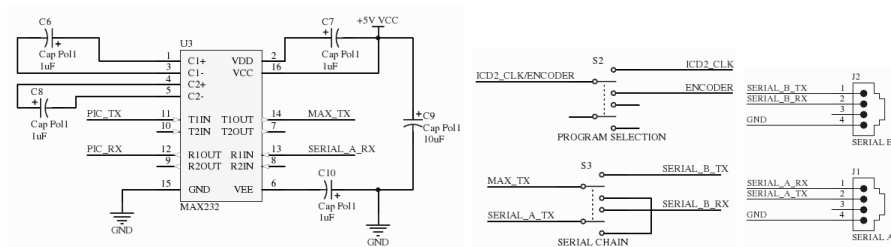


Figura 23: Comunicación, switch de modo y conectores de entrada y salida.

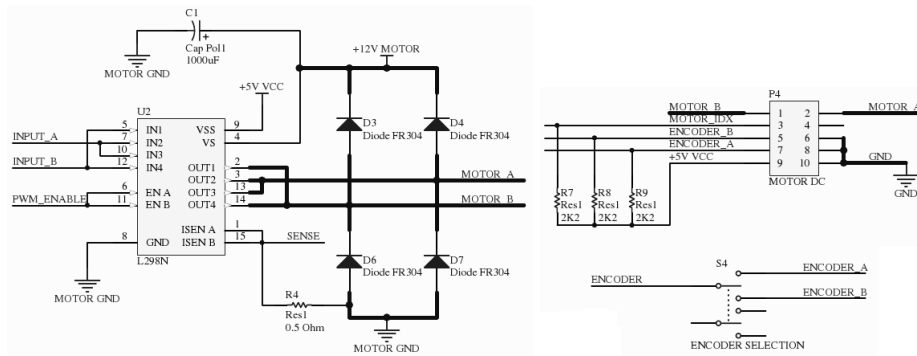


Figura 24: Driver y header de conexión con el motor.

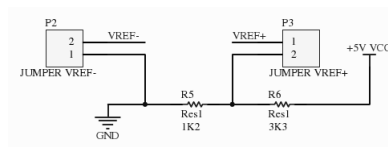


Figura 25: Divisor de tensión para el voltaje de referencia.

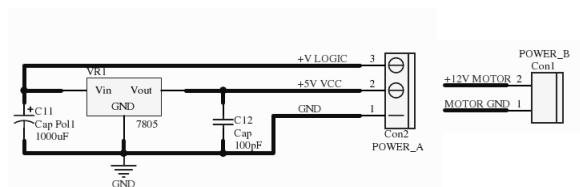


Figura 26: Fuente de alimentación de la lógica y motor.

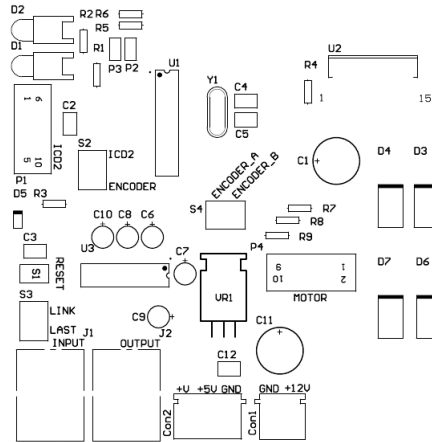


Figura 27: Máscara de componentes de la placa controladora de motores DC.

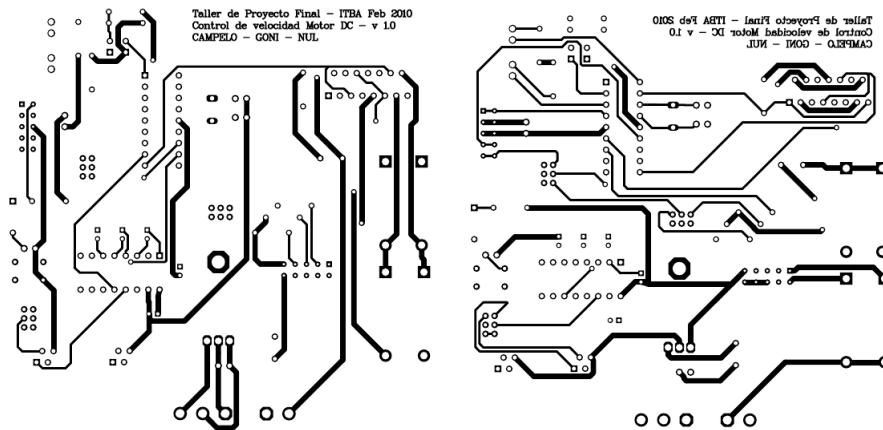


Figura 28: Capas superior e inferior de la placa controladora de motores DC.

#### 0.7.2.6. Circuito

En la figura 27 mostramos la máscara de componentes de la placa. En la figura 28 mostramos ambas capas de la placa.

#### 0.7.2.7. Código básico

El código mínimo para ser parte de la cadena de comunicación es similar al de todas las placas que armamos. La personalización del código está dentro de la función que interpreta el comando recibido y realiza las tareas internas necesarias para llevar a cabo dicha acción y depende íntegramente del protocolo.

Para el sensado de la velocidad debemos determinar cuáles son los pines de lectura de la señal del encoder y debemos generar una base de tiempo que nos permita establecer cuántas cuentas del encoder hay por intervalo de tiempo. Con dicha información podemos aumentar o disminuir el ancho del pulso que controla al puente H *L298* y, en consecuencia, controlar la velocidad del motor

de corriente continua.

Para mantener un histórico de cuentas de encoder realidas nosotros usamos el conocimiento del sentido de giro del motor para sumar o restar el valor calculado por cada intervalo de tiempo en una variable interna del microcontrolador.

#### **0.7.2.8. Posibles extensiones**

Un punto recurrente de discusión fue el uso de una placa por cada motor de corriente continua. Sabíamos que era posible realizar todas las funciones necesarias para el control de dos motores en una única placa, pero esto nos traía una mayor complejidad tanto a nivel físico como a nivel lógico de control, y un tiempo de implementación superior. Es por estas razones que decidimos esta configuración y dejarlo como futura extensión para la cual usaríamos los conocimientos y experiencias adquiridas en el desarrollo de la actual.

Otra posible extensión que es recurrente en todas las placas es el uso de componentes de montaje superficial lo que disminuiría el tamaño de la misma en gran medida pero a su vez implicaba cierta complejidad que preferimos evitar en el desarrollo del prototipo.

#### **0.7.3. Placas de sensado**

Para sensar el entorno utilizamos distintos tipos de sensores que debíamos leer y controlar según fuera requerido desde el controlador principal. Diseñamos una placa a la que podemos conectarle cualquiera de los sensores que usamos en nuestro proyecto, ya sea un sensor de distancia por ultrasonido, telémetros o sensores reflectivos de piso. También utilizamos esta placa para realizar las lecturas de la tensión de la batería. En este apartado detallamos cada una de las características que tuvimos en cuenta durante el desarrollo de las placas de sensado.

##### **0.7.3.1. Características principales**

El uso de diferentes tipos de sensores implicaba un método distinto de lectura según qué sensor estaba conectado. Los sensores de distancia por ultrasonido que usamos generan un pulso de ancho variable según la distancia al objetivo. De forma similar, los telémetros setean un voltaje en la salida en base a la distancia con el objeto. Los sensores reflectivos de piso que usamos miden el nivel de luz infrarroja que refleja la superficie que tienen debajo de ellos y en base al valor sensado inferimos su color.

Para los sensores que devuelven el valor sensado mediante un voltaje, utilizamos el conversor analógico digital para tomar las muestras necesarias. Salvo que se indique lo contrario, tomamos 5 muestras y luego las promediamos para minimizar el error de muestreo.

En el caso del sensor de ultrasonido usamos el módulo de timer para calcular el ancho del pulso generado por el sensor. También usamos interrupciones para captar los flancos ascendentes y descendentes para determinar el comienzo y fin del pulso respectivamente.

Armamos la placa para poder conectar un sensor de distancia por ultrasonido o un switch binario sobre el mismo puerto de conexión. De manera conjunta podemos conectar a la misma placa, hasta cinco sensores por voltaje, telémetros,

fototransistores (sensores de piso) o por ejemplo el divisor de tensión que mide la carga en la batería.

Generamos la posibilidad de habilitar y deshabilitar la alimentación de estos sensores mediante el uso de un transistor *BC327* y así aumentar la autonomía del robot. Este transistor tiene una corriente máxima de hasta  $500mA$  para alimentar al sensor que sea necesario.

#### **0.7.3.2. Módulo de comunicación**

De igual forma que las otras placas en el proyecto, mantenemos la misma disposición física de la comunicación, desde el circuito base hasta la ubicación de los conectores para mayor facilidad a la hora de utilizarlas. También respetamos el protocolo de comunicación definiendo nuevos comandos específicos para la placa y retransmitiendo los paquetes con otro destinatario.

#### **0.7.3.3. Alimentación de la placa**

De igual forma que las otras placas la alimentación principal de la lógica es de 7 a 20 volts, con la posibilidad de alimentarla directamente con 5 volts por uno de los pines del conector como explicamos en la sección 0.7.1.

#### **0.7.3.4. Configuración**

Para la configuración física de la placa necesitamos definir primero el rol de la placa dentro de la cadena de comunicación con la llave *S3*. Como en todas las placas que diseñamos sólo tenemos que elegir el modo *LAST* o *LINK* para determinar si es la terminación o un eslabón más en la cadena.

Debemos saber que no podemos conectar más de 5 sensores de los cuales debamos medir una tensión para obtener el valor. Sólo un sensor de distancia por ultrasonido o switch en el puerto para medir estados lógicos y tiempo del pulso.

Con la llave *S2* cambiamos al modo programación vinculando el microcontrolador con el header de *ICD2* o con la habilitación de los puertos de los sensores 3 y 4. Si esta llave esta en la posición incorrecta nunca se exitará el transistor y por ende no habrá alimentación en el sensor.

En el caso que necesitemos una resistencia *pull-up* conectada con la salida del sensor podemos colocar un jumper en el correspondiente header de pull-up del puerto de sensor.

#### **0.7.3.5. Esquemático**

En la figura 29 mostramos el esquemático del microcontrolador y el conexionado del header de programación. En la figura 30 detallamos el módulo de comunicación y el conexionado con los conectores entre placas.

En la figura 31 mostramos los puertos de conexión para cada uno de los sensores y en la figura 32 la fuente de alimentación y bornera.

#### **0.7.3.6. Circuito**

En la figura 33 mostramos la máscara de componentes de la placa. En la figura 34 mostramos ambas capas de la placa.

Una observación importante en el circuito de esta placa es que al momento

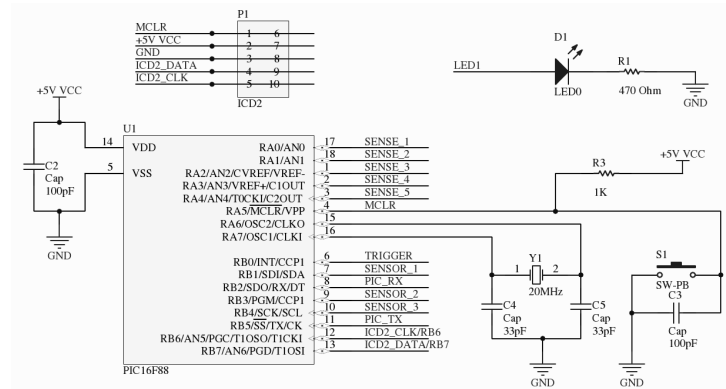


Figura 29: Microcontrolador y header de programación.

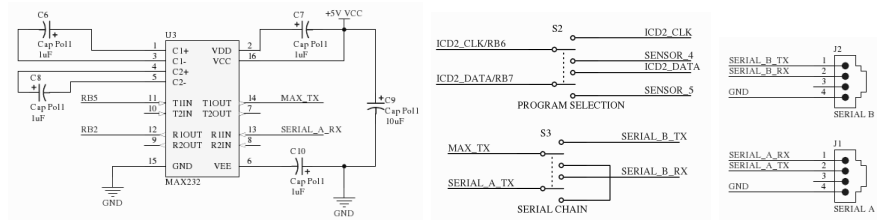


Figura 30: Comunicación, llaves de modo y conectores de entrada y salida.

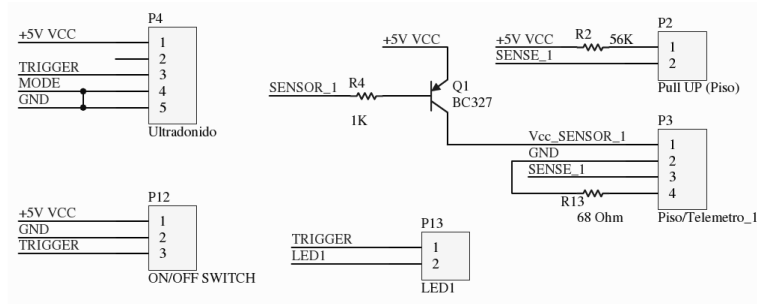


Figura 31: Puertos de conexión para los sensores y header de *pull-up*.

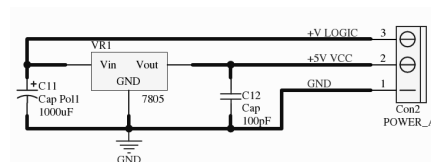


Figura 32: Fuente de alimentación de la lógica.



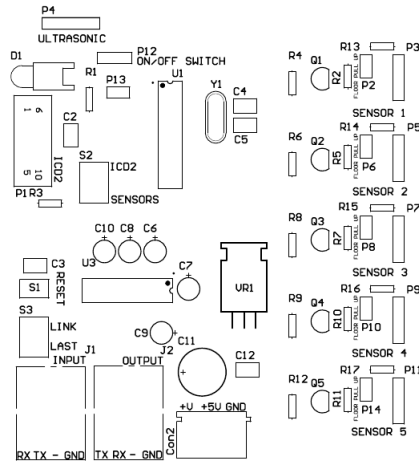


Figura 33: Máscara de componentes de la placa controladora de sensores.

de montarla observamos una gran inestabilidad en el microcontrolador cuando hacíamos lecturas simultáneas en más de 2 telémetros. Luego de varios intentos para solucionar este inconveniente, descubrimos que era un problema en cuanto a un consumo instantáneo de los telémetros que generaba que se reseteara el microcontrolador. Para solucionar esto colocamos un capacitor de  $100\mu F$  entre las pistas de  $+5V$  y  $GND$  en medio de los puertos de los sensores 1 y 2.

Luego de este pequeño cambio pudimos seguir con nuestro desarrollo y las siguientes pruebas mostraron la estabilidad que necesitábamos en el microcontrolador.

#### 0.7.3.7. Código básico

Al compartir el módulo de comunicación entre las placas y para que nuestra placa sea parte de la cadena y podamos interpretar los paquetes que viajan por ella, debemos incluir el código común de comunicación e implementar la función que analiza y ejecuta los paquetes que son dirigidos directamente a nuestra placa, grupo o a nivel broadcast.

Dependiendo de la selección de los sensores a conectar será la configuración interna del microcontrolador. Al principio del código colocamos una serie de scripts que nos ayudan a configurar los tiempos a los que se deben tomar las muestras de los sensores y los flags del microcontrolador.

Los pines que exitan a la base de los transistores usan una lógica inversa, es decir, un estado bajo habilita la alimentación del sensor y un estado alto, lo deshabilita.

#### 0.7.3.8. Posibles extensiones

Dentro de las posibles extensiones que creemos que serían útiles a futuro podemos decir que la más significativa sería usar potenciómetros en vez de resistencias fijas para usar como *pull-up* y para variar la alimentación de los sensores de piso por ejemplo.

En una implementación futura también agregaríamos el uso de componentes

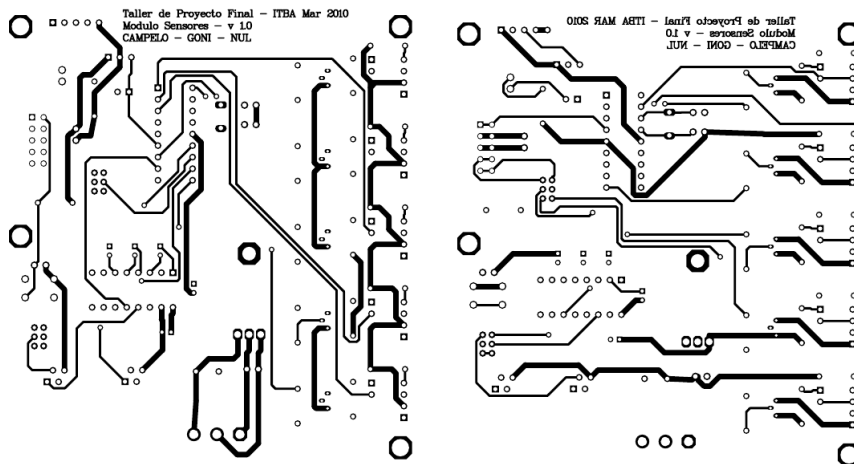


Figura 34: Capas superior e inferior de la placa controladora de sensores.

de montaje superficial y aumentaríamos la cantidad de puertos para sensores disponibles. De igual forma, incorporar otro tipo de sensores nos parece una interesante mejora.

#### 0.7.4. Placa controladora de servo motores

Para los mecanismos que implicaban algún tipo de movimiento y control de la posición elegimos usar de servo motores, ya sea para el mecanismo de recolección de basura, inclinar el robot, reclinar el cesto interno de basura o realizar algún movimiento de paneo o foco con la cámara.

Diseñamos esta placa teniendo en cuenta que usaríamos varios servos en el robot y que también necesitaríamos tener la posibilidad de recibir señales del estilo *fin de carrera* o algún estímulo generado por pulsadores que modificaran o no el accionar de los motores.

Esta placa no la construimos para este prototipo debido a que no contábamos con la necesidad. Al no implementar ningún método físico de recolección, no teníamos mecanismos que la usaran, aunque sí entendimos que era algo que debíamos hacer para tener el conocimiento y sentar una base para futuras implementaciones o proyectos similares.

##### 0.7.4.1. Características principales

Diseñamos la placa pensando en que tendríamos que controlar cinco servo motores. Debido a que pensamos usar servo motores de tipo digital necesitábamos varios módulos de PWM para realizar esta tarea. Pensamos en el uso de otros microcontroladores que pudieran proveernos de esta facilidad, pero finalmente decidimos implementar esta funcionalidad por software.

A los puertos que no están destinados al control de los servo motores les podemos dar varios usos. En un principio los pensamos como generadores interrupciones ante un cambio en el estado y en el puerto *P9* contamos con la posibilidad de determinar el flanco ante el cual se generará la interrupción. En

el puerto *P8* podemos colocar algún tipo de sensado que haga uso del conversor analógico digital del microcontrolador.

De igual forma podríamos extender la rutina que genera el PWM por software, a todos los puertos y controlar hasta 11 servos con una única placa.

#### **0.7.4.2. Módulo de comunicación**

Como utilizamos como base las otras placas y mantuvimos la sección de comunicación, para ser parte de la cadena sólo debemos incluir el código común e implementar las acciones necesarias dentro de la función que interpreta los comandos a los que somos destinatarios.

Como explicamos en la sección 0.6.2.2 creamos ciertos comandos o paquetes específicos para el control de los servos. De igual forma contemplamos el uso de pulsadores en la misma.

Un mayor cambio a nivel funcional implicaría que hicieramos otros cambios a nivel protocolo, el cual pensamos para ser expandido creando nuevos comandos o modificando los existentes.

#### **0.7.4.3. Alimentación de la placa**

Al igual que las otras placas utilizamos entre 7 y 20 volts para alimentar la placa, con la posibilidad de entregar 5 volts en forma directa usando el pin indicado.

Hicimos una modificación importante para la alimentación en esta placa que nos permitiría entregar una mayor cantidad de corriente que los  $500mA$  que soporta el integrado *7805* usando transistores de potencia como los *TIP42*. Este cambio era importante porque los servo motores que íbamos a usar se alimentaban directamente a  $5V$  y el consumo en conjunto superaba la cantidad de corriente que el regulador de tensión entregaba.

#### **0.7.4.4. Configuración**

La configuración física necesaria en la placa sería mínima. Mediante la llave inversora *S2* tendríamos la posibilidad de conectar el microcontrolador con el header de programación o puertos *P12* y *P13*.

Usando la llave *S3* estableceríamos la posición de la placa dentro de la cadena, ya sea como la terminación o un eslabón más. Todas las demás configuraciones serían a nivel software.

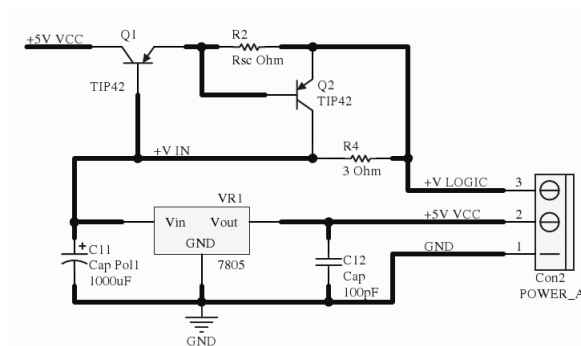
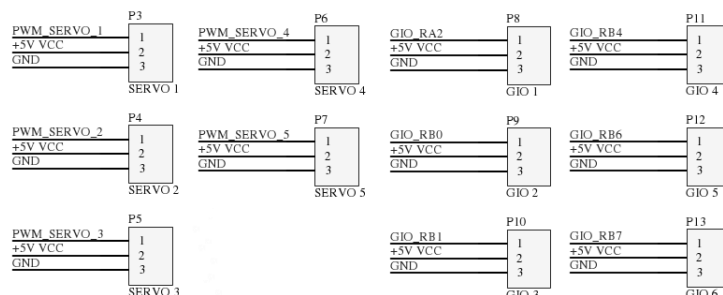
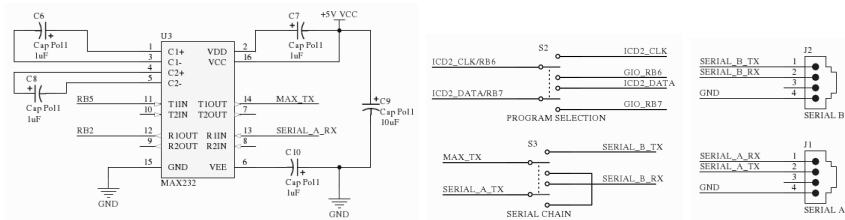
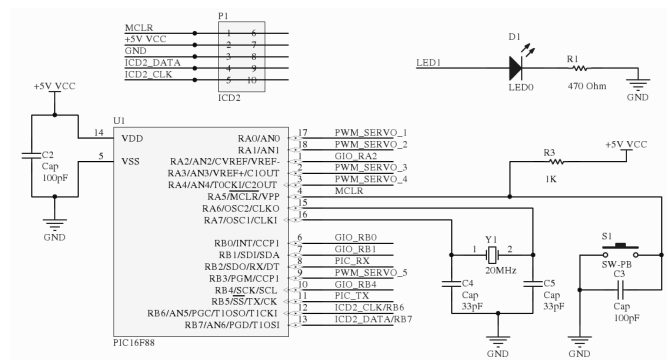
#### **0.7.4.5. Esquemático**

En la figura 35 mostramos el esquemático del microcontrolador y el conexionado del header de programación. En la figura 36 detallamos el módulo de comunicación y el conexionado con los conectores entre placas.

En la figura 37 mostramos los puertos de conexión para los servo motores y de uso general para otras conexiones. En la figura 38 la fuente de alimentación y bornera.

#### **0.7.4.6. Circuito**

En la figura 39 mostramos la máscara de componentes de la placa. En la figura 40 mostramos ambas capas de la placa.



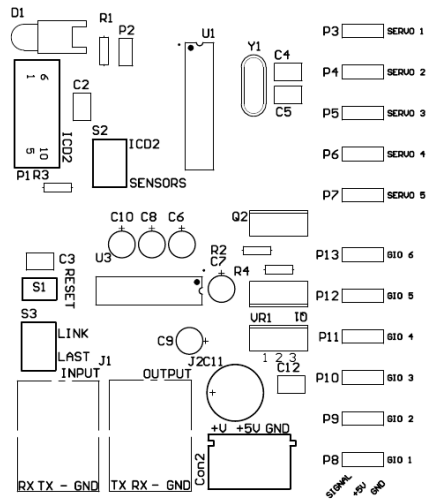


Figura 39: Máscara de componentes de la placa controladora de servo motores.

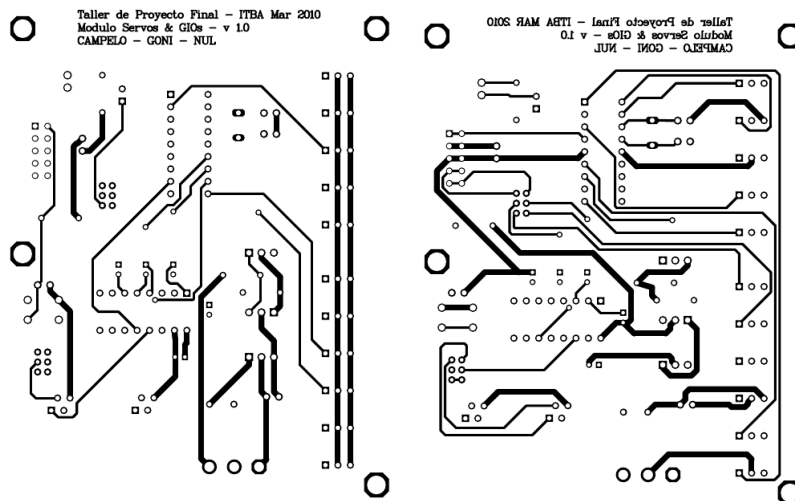


Figura 40: Capas superior e inferior de la placa controladora de servo motores.

#### 0.7.4.7. Código básico

Como explicamos en la sección 0.3.2.2 creamos una rutina de control que usando el timer del microcontrolador como base de tiempo, genera pulsos del ancho necesario en cada puerto para establecer la posición necesaria de cada servo motor.

Para capturar cambios de estado en los puertos de uso generar sólo deberíamos configurar las interrupciones del microcontrolador para que se generen ante cualquier cambio y verificar en la rutina de interrupción, que puerto la generó.

De querer utilizar los puertos para funciones no previstas en nuestro diseño deberíamos agregar las funciones de control en el ciclo principal de nuestro código.

#### 0.7.4.8. Posibles extensiones

Posiblemente haya necesidades que no contemplamos en es diseño de esta placa aunque por no haberla construido no tenemos la experiencia sobre qué cosas hubiéramos hecho diferente.

### 0.8. Armado del prototipo

Una vez diseñadas, armadas y probadas cada una de las placas controladoras tanto en forma separada como en conjunto, procedimos al armado del robot prototipo. Como no teníamos las dimensiones o requerimientos de espacio del mecanismo de recolección armamos el prototipo sin estas consideraciones.

Para darle forma al prototipo tuvimos en consideración varias cuestiones como *a)* materiales de contrucción; *b)* volumen interior para alojar los distintos componentes; *c)* posición de cada sensor respecto del borde exterior; *d)* posición de las ruedas y la maniobrabilidad que tendría; *e)* debía poder pasar por entre las sillas y mesas de la terraza.

Elegimos darle al chasis una forma de octógono. Ésto eliminaba los ángulos rectos de los bordes para minimizar la posibilidad de quedar atascados en las esquinas. A su vez, si colocábamos las ruedas alineadas con el centro geométrico del robot aumentaba la maniobrabilidad y podíamos realizar rápidas rotaciones sin chocar con el entorno.

Respetando nuestro diseño inicial y sabiendo que la cantidad de sensores era adecuada para cubrir nuestros requerimientos, definimos las posiciones de cada sensor. Para colocar los telémetros infrarrojos a la altura necesaria creamos un contorno con paredes, que a su vez, nos daban el volumen interior para alojar las placas controladoras y batería. El sensor de distancia por ultrasonido lo colocamos al frente, centrado y apuntando hacia adelante para tener el mayor campo de visión posible.

Para sostener las placas en el interior colocamos una varilla roscada de lado a lado en el interior y afirmamos entre dos tuercas a cada placa. Colocamos las placas de sensado en el centro y contra las paredes a las placas controladoras de motor. El cableado con los sensores lo hicimos interior a traves de agujeros en las paredes. De igual forma, los cables de control para los motores y el cableado para los sensores de piso, los pasamos por un agujero en la base del robot.

Elegimos una batería de gel de 12V 7Ah que según nuestros cálculos nos daría una autonomía de entre 2 y 3 horas de uso continuo. Aprovechando su

peso la colocamos lo más atrás posible dentro del volumen interior para mover el centro de gravedad y en conjunto con la rueda castor trasera, dar mayor estabilidad al robot.

Colocamos los motores en la parte inferior del robot alineados con el centro geométrico y las ruedas dentro del chasis para evitar atascos. Las ruedas que elegimos tienen una buje de teflón, con llanta de chapa y cubierta de goma compacta. Un problema que encontramos en este punto fue que el eje del motor era cilíndrico y no presentaba ninguna marca o corte para ajustar las ruedas. Debido a esto nos fue muy difícil realizar este ajuste.

En la parte superior armamos, con una madera más fina, un segundo piso para colar la netbook y poder controlarla fácilmente. Pasamos el cable adaptador USB a serial RS232 por un agujero en el segundo piso y colocamos a la vista un interruptor de encendido desde el cual podemos recargar la batería del robot con los cables con punta de cocodrilo del cargador automático.

#### **0.8.1. Diseño**

#### **0.8.2. Características**

con las ruedas de 10cm y teniendo en cuenta que el motor gira a unas 300 cuentas/segundo (usando un solo sensor en el encoder) llegamos a 50 cm/s de velocidad

#### **0.8.3. Desarme**

Para lograr el desarme del prototipo recomendamos desconectar el cable del conversor USB - RS232 y retirar de la parte superior la netbook. Luego seguir los siguientes pasos según las referencias en las figuras 41, 42 y 43.

- Retirar los 12 tornillos (1) que sostienen la tapa superior.
- Retirar el cable que conecta el sensor de ultrasonido (2) con las placas.
- Aflojar los tornillos (3) que sostienen al sensor de ultrasonido.
- Retirar la tapa (4).
- Desconectar los cables (5) de alimentación de las placas.
- Desconectar los cables (6) que conectan a los telémetros con las placas.
- Desconectar los cables (7) de comunicación entre las placas.
- Desconectar los cables (8) que conectan a las placas con los motores DC.
- Aflojar y retirar las tuercas (9) que mantienen a la varilla roscada (10).
- Despegar y retirar la batería (11) de la base del robot (12).
- Moviéndola hacia los costados, retirar las placas (13).
- Retirar los telémetros (14).
- Retirar los sensores de piso (15).
- Aflojar y retirar las tuercas (16) que sostienen a los sensores de piso.

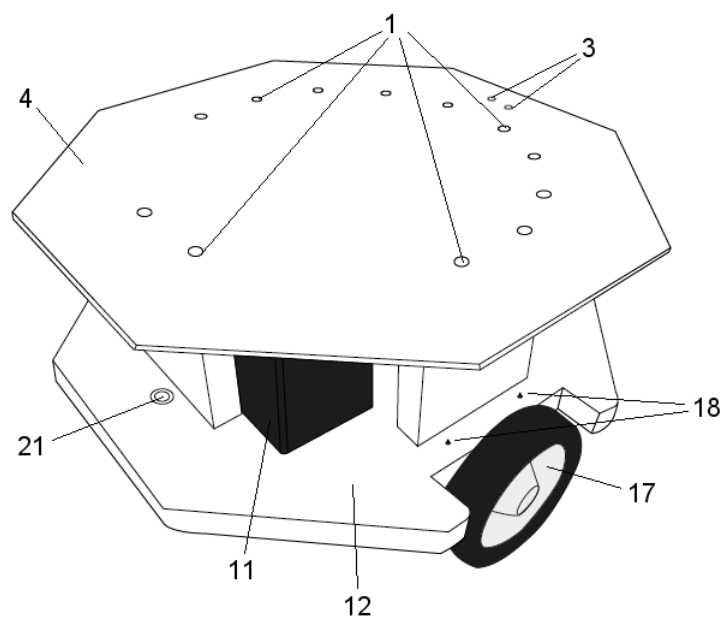


Figura 41: Diagrama de desarme exterior.

- Retirar las ruedas (17) de los motores.
- Retirar los tornillos (18) de las abrazaderas (19) de los motores (20).
- Retirar la rueda de tipo castor trasera (21).
- Retirar la rueda de tipo castor delantera (22).



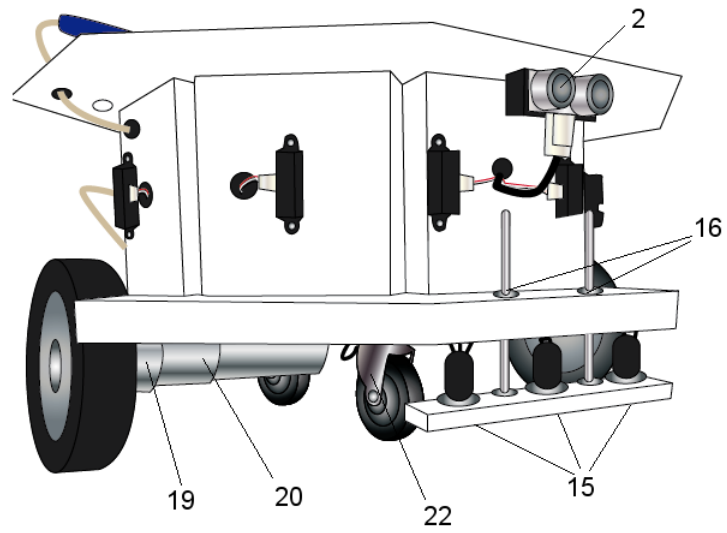


Figura 42: Diagrama de desarme frontal.

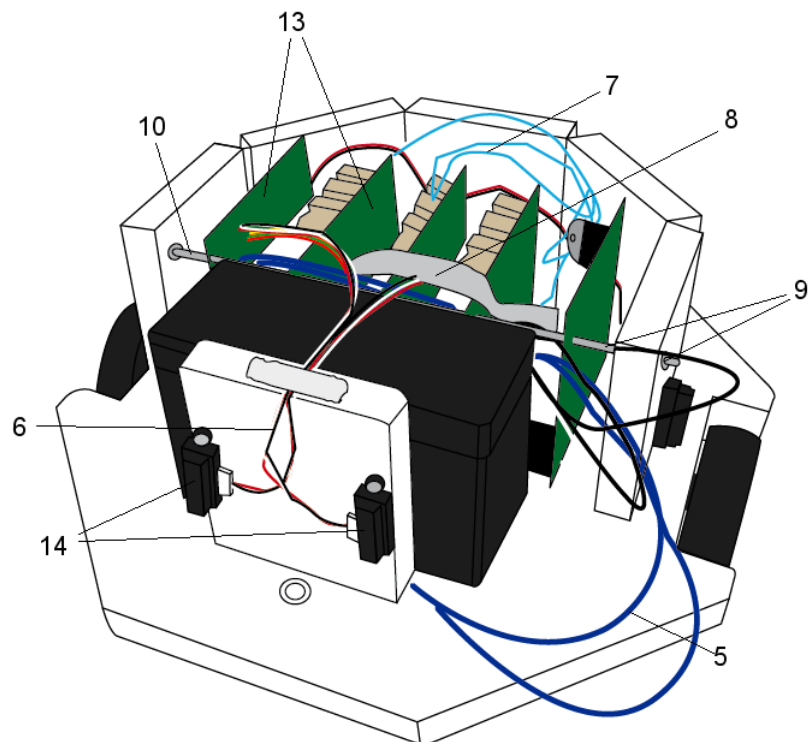


Figura 43: Diagrama de desarme interior.

## **A. protocolo de comunicacion**

Protocolo...

## B. Código fuente

En este apartado mostramos el código fuente usado para cada una de las placas controladoras del proyecto. Pequeños cambios existen en *ID* de grupo y placa fueron necesarios para poder lograr que sean únicas dentro de la cadena de comunicación.

### B.1. Placa genérica

A la placa genérica la pensamos para testeo y como punto de partida de nuevas implementaciones, agregamos el código que usamos como base para la programación de las otras placas.

```
#define CARD_GROUP      MOTOR_DC          // Ver protocolo.h
#define CARD_ID         0                 // Valor entre 0 y E

// Descripcion de la placa
#define DESC             "PLACA GENERICA - 1.0" // Maximo DATA_SIZE bytes

/* Modulo Generico - main.c
 * PIC16F88 - MAX232 - GENERICO
 */
/*
 *                               PIC16F88
 * -----
 * -|RA2/AN2/CVREF/VREF           RA1/AN1|- LED
 * -|RA3/AN3/VREF+/C1OUT         RA0/ANO|-
 * LED -|RA4/AN4/TOCKI/C2OUT     RA7/OSC1/CLKI|- XT CLOCK pin1, 27pF to GND
 * RST/ICD2:MCLR -|RA5/MCLR/VPP   RA6/OSC2/CLKO|- XT CLOCK pin2, 27pF to GND
 * GND -|VSS                     VDD|- +5v
 * -|RB0/INT/CCP1               RB7/AN6/PGD/T1OSI|- ICD2:PGD/
 * -|RB1/SDI/SDA                RB6/AN5/PGC/T1OSO/T1CKI|- ICD2:PGC/
 * MAX232:R1OUT -|RE2/SDO/RX/DI  RB5/SS/TX/CK|- MAX232:T1IN
 * -|RB3/PGM/CCP1              RB4/SCK/SCL|-
 * ',-----,'
 */

#include <16F88.h>
#DEVICE ADC = 10
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay (clock=2000000)

#use rs232(BAUD=115200,PARITY=N,XMIT=PIN_B5,RCV=PIN_B2,BITS=8,ERRORS,TIMEOUT=1,STOP=1,UART1)
#use fast_io(A)
#use fast_io(B)

#byte porta=0x05
#byte portb=0x06

// Led
#bit led1=porta.1
#bit led2=porta.4

// MAX232
#bit tx=portb.5
#bit rx=portb.2

#include <../../protocolo/src/protocol.c>
/*
** Variables definidas en protocol.c

short reset; // Variable para hacer el reset
short crcOK; // Informa si el CRC del paquete parseado fue correcto
short sendResponse; // Informa que no debe mandarse la respuesta automatica
```

```

char buffer[MAX_BUFFER_SIZE]; // Buffer de recepcion de comandos
int buffer_write;             // Indice de escritura
int buffer_read;              // Indice de lectura
int data_length;              // Largo de los datos en el buffer

struct command_t command;     // Comando parseado
struct command_t response;    // Respuesta

** Implementar las siguientes funciones (usadas por el protocolo)

void init(); // Inicializa puertos y variables
void doCommand(struct command_t * cmd); // Examina y ejecuta el comando

***/

void init()
{
    // Inicializa puertos
    set_tris_a(0b11100101);
    set_tris_b(0b11100110);

    // Variable para hacer el reset
    reset = false;

    return;
}

void main()
{
    // Placa Generica - Implementacion del protocolo
    init();

    // Init del protocol
    initProtocol();

    // FOREVER
    while(true)
    {
        // Hace sus funciones...

        // Protocolo
        runProtocol(&command);
    }

    return;
}

/* Verifica que el comando sea valido y lo ejecuta */
void doCommand(struct command_t * cmd)
{
    int crc, i, len;

    // Calculo del CRC
    crc = generate_8bit_crc((char *)cmd, cmd->len, CRC_PATTERN);

    // CRC ok?
    if (cmd->crc != crc)
    {
        // Creo respuesta de error
        response.len = MIN_LENGTH + cmd->len + 2 + 1;
        response.to = cmd->from;
        response.from = THIS_CARD;
        response.cmd = COMMON_ERROR;
        response.data[0] = 0x00;
        // Agrego el paquete que contiene el error de CRC
        response.data[1] = cmd->len;
        response.data[2] = cmd->to;
        response.data[3] = cmd->from;
        response.data[4] = cmd->cmd;
        // Campo data
        len = cmd->len - MIN_LENGTH;
        for (i = 0; i < len; i++)
            response.data[5 + i] = (cmd->data)[i];
        // CRC erroneo
    }
}

```

```

        response.data[5 + len] = cmd->crc;
        // CRC esperado
        response.data[5 + len + 1] = crc;
        // CRC de la respuesta
        response.crc = generate_8bit_crc((char *)&response, response.len, CRC_PATTERN);

        crcOK = false;
        return;
    }

    crcOK = true;

    // Minimo todos setean esto
    response.len = MIN_LENGTH;
    response.to = cmd->from & 0x77;
    response.from = THIS_CARD;
    response.cmd = cmd->cmd | 0x80;

    switch (cmd->cmd)
    {
        // Comandos comunes
        case COMMON_INIT:
            init();
            // Enviar la descripcion de la placa en texto plano
            strcpy(response.data, DESC);
            response.len += strlen(response.data);
            break;
        case COMMON_RESET:
            // Enviar la descripcion de la placa en texto plano
            strcpy(response.data, DESC);
            response.len += strlen(response.data);
            // Reset!
            reset = true;
            break;
        case COMMON_PING:
            // No hace falta hacer mas nada
            break;
        case COMMON_ERROR:
            // Por ahora se ignora el comando
            break;

        /* Comandos especificos */

        case 0x40:
            /*
            :DAT0:
            -
            :RESP:
            -
            */
            break;

        default:
            response.len++;
            response.cmd = COMMON_ERROR;
            response.data[0] = 0x01; // Comando desconocido
            break;
    }

    // CRC de la respuesta
    response.crc = generate_8bit_crc((char *)&response, response.len, CRC_PATTERN);

    return;
}

```

## B.2. Archivo *protocolo.c*

Código fuente común que genera un buffer cíclico con los paquetes entrantes, parsea el buffer y llama a la función que analiza al paquete según la implementación propia para cada placa.

```
#include <../../protocolo/src/protocol.h>
```

```

short reset;
short crcOK;
short sendResponse;

char buffer[MAX_BUFFER_SIZE];
int buffer_write;
int buffer_read;
int data_length;

// Comando parseado
struct command_t command;
// Respuesta
struct command_t response;

// Interrupcion del RS232
#INT_RDA
void RS232()
{
    disable_interrupts(INT_RDA);
    // Un nuevo dato...
    buffer[buffer_write++] = getc();
    data_length++;
    if (buffer_write == MAX_BUFFER_SIZE)
        buffer_write -= MAX_BUFFER_SIZE;
    enable_interrupts(INT_RDA);
    return;
}

/* Envia los datos por el pto serial */
void initProtocol()
{
    // Variables de comunicacion
    buffer_write = 0;
    buffer_read = 0;
    data_length = 0;
    crcOK = false;

    // Interrupcion Rcv
    enable_interrupts(INT_RDA);

    // Habilito las interrupciones
    enable_interrupts(GLOBAL);
}

/* Envia los datos por el pto serial */
void send(struct command_t * cmd)
{
    int i, len;

    len = cmd->len - 4;
    putc(cmd->len);
    putc(cmd->to);
    putc(cmd->from);
    putc(cmd->cmd);

    for (i = 0; i < len; i++)
    {
        putc((cmd->data)[i]);
    }

    // Enviar el CRC
    putc(cmd->crc);

    return;
}

void runProtocol(struct command_t * cmd)
{
    // Analiza el buffer
    if (buffer[buffer_read] < data_length)
    {
        data_length -= buffer[buffer_read] + 1;
    }
}

```

```

cmd->len = buffer[buffer_read++];

if (buffer_read == MAX_BUFFER_SIZE)
    buffer_read = 0;

cmd->to = buffer[buffer_read++];

if (buffer_read == MAX_BUFFER_SIZE)
    buffer_read = 0;

cmd->from = buffer[buffer_read++];

if (buffer_read == MAX_BUFFER_SIZE)
    buffer_read = 0;

cmd->cmd = buffer[buffer_read++];

if (buffer_read == MAX_BUFFER_SIZE)
    buffer_read = 0;

// Obtiene el campo DATA
if ((buffer_read + cmd->len - MIN_LENGTH) > MAX_BUFFER_SIZE)
{
    // DATA esta partido en el buffer ciclico
    memcpy(cmd->data, buffer + buffer_read, MAX_BUFFER_SIZE - buffer_read);
    memcpy(cmd->data + MAX_BUFFER_SIZE - buffer_read, buffer,
           cmd->len - MIN_LENGTH - MAX_BUFFER_SIZE + buffer_read);
} else {
    // DATA esta continuo
    memcpy(cmd->data, buffer + buffer_read, cmd->len - MIN_LENGTH);
}

buffer_read += cmd->len - MIN_LENGTH;
if (buffer_read >= MAX_BUFFER_SIZE)
    buffer_read -= MAX_BUFFER_SIZE;

cmd->crc = buffer[buffer_read++];

if (buffer_read == MAX_BUFFER_SIZE)
    buffer_read = 0;

sendResponse = true;

// Soy el destinatario?
if (cmd->to == THIS_CARD)
{
    // Ejecuta el comando
    doCommand(cmd);
} else // Es broadcast?
    if ((cmd->to & 0xF0) == 0xF0)
    {
        // Ejecuta el comando
        doCommand(cmd);

        if (crcOK == true)
        {
            // Envia la respuesta
            send(&response);
            // Envia nuevamente el comando recibido
            response = *cmd;
        }
    }
    else // Es broadcast para mi grupo?
        if (((cmd->to & 0x0F) == 0x0F) &&
            ((cmd->to & 0xF0) == THIS_GROUP))
        {
            // Ejecuta el comando
            doCommand(cmd);
#ifdef RESEND_GROUP_BROADCAST
            if (crcOK == true)
            {
                // Envia la respuesta
                send(&response);
                // Envia nuevamente el comando recibido
                response = *cmd;
            }

```

```

}

#endif

        } else {
            response = *cmd;
        }

        // Envia la respuesta?
        if (sendResponse == true)
        {
            send(&response);
        }

    }

    // Reset del micro
    if (reset == true)
    {
        reset_cpu();
    }

}

int generate_8bit_crc(char* data, int length, int pattern)
{
    // TODO: reemplazar por el crc?

    int crc_byte, i;

    crc_byte = data[0];

    for (i = 1; i < length; i++)
        crc_byte ^= data[i];

    return crc_byte;
}

```

### B.3. Placa controladora de motor de dc

Código fuente de la placa controladora de motor de corriente continua.

```
//CCS PCM V4.023 COMPILER

#define CARD_GROUP      MOTOR_DC      // Ver protocolo.h
#define CARD_ID         0             // Valor entre 0 y E

// Descripcion de la placa
#define DESC             "CONTROL MOTOR DC 1.0" // Maximo DATA_SIZE bytes

/* Modulo Motor - main.c
** PIC16F88 - MAX232 - L298 - MR-2-60-FA
**
**
**                               PIC16F88
**
**      .------.
**      VREF -|RA2/AN2/CVREF/VREF      RA1/AN1|- MOTOR:CHA_B
**      LED   -|RA3/AN3/VREF+/C1OUT     RA0/AN0|- L298:SEN
**      LED   -|RA4/AN4/TOCKI/C2OUT     RA7/OSC1/CLKI|- XT CLOCK pin1, 27pF to GND
** RST/ICD2:MCLR -|RA5/MCLR/VPP         RA6/OSC2/CLKO|- XT CLOCK pin2, 27pF to GND
**      GND      -|VSS                  VDD|- +5v
**      L298:ENABLE -|RB0/INT/CCP1       RB7/AN6/PGD/T10SI|- ICD2:PGD
**      MOTOR:IDX  -|RB1/SDI/SDA  RB6/AN5/PGC/T10SO/T1CKI|- ICD2:PGC/MOTOR:CHA_A
**      MAX232:R1OUT -|RB2/SDO/RX/DT     RB5/SS/TX/CK|- MAX232:T1IN
** L298:INPUT_B/-|RB3/PGM/CCP1          RB4/SCK/SCL|- L298:INPUT_A
**      ICD2:PGM   '-------'
**
**
**/

#include <16F88.h>
#define DEVICE ADC = 10
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
```



```

#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay (clock=20000000)

#use rs232(BAUD=115200,PARITY=N,XMIT=PIN_B5,RCV=PIN_B2,BITS=8,ERRORS,TIMEOUT=1,STOP=1,UART1)
#use fast_io(A)
#use fast_io(B)

#byte porta=0x05
#byte portb=0x06

// MAX232
#bit tx=portb.5
#bit rx=portb.2

// Led
#bit led1=porta.3
#bit led2=porta.4

// L298
#bit inputA=portb.4
#bit inputB=portb.3
#bit enable=portb.0
#bit sensor=porta.0

// Motor inuts
#bit motorIDX=portb.1
#bit channelA=portb.6
#bit channelB=porta.1

#include <../../protocolo/src/protocol.c>
/*
** Variables definidas en protocol.c

short reset; // Variable para hacer el reset
short crcOK; // Informa si el CRC del paquete parseado fue correcto
short sendResponse; // Informa que no debe mandarse la respuesta automatica

char buffer[MAX_BUFFER_SIZE]; // Buffer de recepcion de comandos
int buffer_write; // Indice de escritura
int buffer_read; // Indice de lectura
int data_length; // Largo de los datos en el buffer

struct command_t command; // Comando parseado
struct command_t response; // Respuesta

** Implementar las siguientes funciones (usadas por el protocolo)

void init(); // Inicializa puertos y variables
void doCommand(struct command_t * cmd); // Examina y ejecuta el comando

***/

#define MAX_CONSUMPTION 150
#define MAX_CONSUMPTION_COUNT 5

// Correccion de la cantidad de cuentas por segundo en base al periodo del TMRO
#define INTERVAL_CORRECTION 5

// Girar -> clockwise or unclockwise
// Intercambiar entre el motor derecho y el izquierdo
#define CLOCKWISE 1
#define UNCLOCKWISE -1

// Sentido de giro del motor
signed int turn;
// Cantidad de overflows del TMRO
long tmr0_ticks;
// Valor acumulado del ADC - Consumo aprox
long adc_value;
// Ultimo valor del consumo
long last_consumption;
// Valor de duty del PWM
signed long duty;
// Cantidad de cuentas del encoder medidas por intervalo

```

```

signed long counts_real;
// Cantidad de cuentas del encoder esperadas por intervalo
signed long counts_expected;
// Cantidad de cuentas del encoder historicas (32 bits)
signed int32 counts_total;
// Cantidad de cuentas del encoder restantes para detener el motor
signed long counts_to_stop;
// Cantidad de cuentas del encoder desde el ultimo intervalo
signed long last_counts;
signed long last_counts2;
// Tengo una cantidad de cuentas para hacer?
short counts_check;
// Corrijo el PWM segun lo esperado?
short correct_duty;
// Indica que hay que enviar una alarma de consumo
short consumption_alarm;
// Cuenta cuantas alarmas se enviaron
int alarm_count;
// Indica que hay que avisar que el motor se detuvo
short shutdown_alarm;
// Indica si se apagaron los motores por el alto consumo
short motor_shutdown;

// Variables temporales
signed int32 * tmp32;
signed long * tmp16;

/* Setea el PWM */
void SetPWM(signed long pwm);

// Interrupcion del Timer0
#INT_RTCC
void Timer0_INT()
{
    // Seteo el valor para que interrumpa cada 6.25ms
    set_timer0(12);

    // Comienza la lectura del ADC
    read_adc(ADC_START_ONLY);

    // Agrego al historico de cuentas el ultimo acumulado
    counts_real = get_timer1();
    counts_total += (counts_real - last_counts2) * turn;
    last_counts2 = counts_real;

    // Tengo una cantidad de cuentas para hacer?
    if (counts_check == 1)
    {
        // Verifico si pasaron las cuentas que se habian pedido
        if (counts_to_stop < 1)
        {
            // Detengo el motor
            counts_check = 0;
            counts_to_stop = 0;
            counts_expected = 0;
            duty = 0;
            SetPWM(duty);
            correct_duty = 0;
            last_counts = 0;
        } else {
            counts_real = get_timer1();
            counts_to_stop -= (counts_real - last_counts); // * turn;
            correct_duty = 1;
            last_counts = counts_real;
        }
    } else {
        correct_duty = 1;
    }

    // Tomo la muestra
    adc_value += read_adc(ADC_READ_ONLY);

    if (++tmr0_ticks == 32)
    {

```

```

        // Entra cada 200ms

        // Obtengo la cantidad de cuentas desde la ultima entrada
        counts_real = get_timer1();
        set_timer1(0);
        last_counts = 0;
        last_counts2 = 0;
        // Promedio el consumo segun la cantidad de tmr0_ticks
        last_consumption = adc_value / tmr0_ticks;

        if (last_consumption >= MAX_CONSUMPTION)
        {
            consumption_alarm = 1;
            if (alarm_count++ == MAX_CONSUMPTION_COUNT)
            {
                motor_shutdown = 1;
                alarm_count = 0;
                consumption_alarm = 0;
                shutdown_alarm = 1;
            }
        }

        tmr0_ticks = 0;

        // Mantengo el consumo promedio desde que arranque y borro el temporal
        adc_value = 0;

        // Corrijo el PWM segun lo esperado
        if ((correct_duty == 1) && (counts_real != counts_expected))
        {
            duty += (counts_expected - counts_real) * 5;
            if (duty > 1023L)
                duty = 1023;
            else if (duty < 0)
                duty = 0;
            SetPWM(duty * turn);
        } else if ((counts_expected == 0) && (duty != 0)) {
            SetPWM(duty = 0);
        }
    }
    return;
}

void init()
{
    // Inicializa puertos
    set_tris_a(0b11100111);
    set_tris_b(0b11100110);

    // ***ADC***
    setup_port_a(sANO); //VSS_VREF);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    set_adc_channel(0);
    setup_adc_ports(sANO);
    // Deberia usar VREF_A2... probar
    setup_vref(VREF_HIGH | 8); // VREF a 2.5V -> no hay cambios...

    // ***PWM***
    setup_ccp1(CCP_PWM);
    // Seteo al PWM con f: 4.88 kHz, duty = 0
    set_pwm1_duty(0);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_4, 255, 1);

    // ***TIMER1 - ENCODER COUNTER***
    // Seteo el Timer1 como fuente externa y sin divisor
    setup_timer_1(T1_EXTERNAL | T1_DIV_BY_1);
    set_timer1(0);

    // ***TIMER0 - TIME BASE***
    // Seteo el Timer0 como clock -> dt = 6.25ms
    setup_counters(RTCC_INTERNAL, RTCC_DIV_128);
    set_timer0(12);
    // Interrupcion sobre el Timer0
    enable_interrupts(INT_RTCC);
}

```

```

// Habilito las interrupciones
enable_interrupts(GLOBAL);

// Variable para hacer el reset
reset = false;

// Sentido de giro del motor
turn = CLOCKWISE;
// Cantidad de overflows del TMRO
tmr0_ticks = 0;
// Valor acumulado del ADC - Consumo aprox
adc_value = 0;
last_consumption = 0;
// Valor de duty del PWM
duty = 0;
// Cantidad de cuentas del encoder esperadas por intervalo
counts_expected = 0;
// Cantidad de cuentas del encoder totales
counts_total = 0;
// Cantidad de cuentas del encoder restantes para detener el motor
counts_to_stop = 0;
// Cantidad de cuentas del encoder desde el ultimo intervalo
last_counts = 0;
last_counts2 = 0;
// Tengo una cantidad de cuentas para hacer?
counts_check = 0;
// Corrijo el PWM segun lo esperado?
correct_duty = 1;
// Indica que hay que enviar una alarma de consumo
consumption_alarm = 0;
// Cuenta cuantas alarmas se enviaron
alarm_count = 0;
// Indica que hay que enviar una alarma de consumo
shutdown_alarm = 0;
// Indica si se apagaron los motores por el alto consumo
motor_shutdown = 0;

return;
}

/* Setea el duty del PWM segun el valor. Positivo o negativo determina el sentido */
void setPWM(signed long pwm)
{
    if (pwm < 0)
    {
        inputA = 0;
        inputB = 1;
    } else {
        inputA = 1;
        inputB = 0;
    }

    if (motor_shutdown == 1)
    {
        pwm = 0;
    } else {
        pwm = (abs(pwm));

        if (pwm > 1023L)
            pwm = 1023;
    }

    set_pwm1_duty(pwm);

    return;
}

void main()
{
    // Placa Generica - Implementacion del protocolo
    init();

    // Init del protocol

```

```

        initProtocol();

counts_expected = 30;

// FOREVER
while(true)
{
    // Hace sus funciones -> interrupcion

    // Enviar alarma de alto consumo
    if (consumption_alarm == 1)
    {
        /* Indica al controlador principal que hay un consumo extremo en el motor,
        posiblemente un atasco del motor o de la rueda.
        :DATO:
        Numero entero positivo de 16 bits en el rango desde 0x0000 hasta
        0x03FF, que representa el consumo ante el que sono la alarma.
        :RESP:
        -
        */
        command.len = MIN_LENGTH + 2;
        command.to = MAIN_CONTROLLER;
        command.from = THIS_CARD;
        command.cmd = DC_MOTOR_MOTOR_STRESS_ALARM;
        // A la posicion 0 dentro de command.data la tomo como signed long *
        tmp16 = (command.data);
        // Le asigno el valor del ultimo consumo del motor
        (*tmp16) = last_consumption;
        command.crc = generate_8bit_crc((char *)&command, command.len, CRC_PATTERN);
        consumption_alarm = 0;
        // Envio del comando
        send(&command);
    }

    // Enviar aviso de motor apagado
    if (shutdown_alarm == 1)
    {
        /* Indica al controlador principal que el motor ha sido apagado debido al alto
        consumo. Enviado luego de sucesivos avisos del comando DC_MOTOR_MOTOR_STRESS_ALARM.
        :DATO:
        Numero entero positivo de 16 bits en el rango desde 0x0000 hasta
        0x03FF, que representa el consumo ante el que sono la alarma.
        :RESP:
        -
        */
        command.len = MIN_LENGTH + 2;
        command.to = MAIN_CONTROLLER;
        command.from = THIS_CARD;
        command.cmd = DC_MOTOR_MOTOR_SHUT_DOWN_ALARM;
        // A la posicion 0 dentro de response->data la tomo como signed long *
        tmp16 = (command.data);
        // Le asigno el valor del ultimo consumo del motor
        (*tmp16) = last_consumption;
        command.crc = generate_8bit_crc((char *)&command, command.len, CRC_PATTERN);
        shutdown_alarm = 0;
        // Envio del comando
        send(&command);
    }

    // Protocolo
    runProtocol(&command);
}

return;
}

/* Verifica que el comando sea valido y lo ejecuta */
void doCommand(struct command_t * cmd)
{
    int crc, i, len;

    // Calculo del CRC
    crc = generate_8bit_crc((char *)cmd, cmd->len, CRC_PATTERN);

```

```

// CRC ok?
if (cmd->crc != crc)
{
    // Creo respuesta de error
    response.len = MIN_LENGTH + cmd->len + 2 + 1;
    response.to = cmd->from;
    response.from = THIS_CARD;
    response.cmd = COMMON_ERROR;
    response.data[0] = 0x00;
    // Agrego el paquete que contiene el error de CRC
    response.data[1] = cmd->len;
    response.data[2] = cmd->to;
    response.data[3] = cmd->from;
    response.data[4] = cmd->cmd;
    // Campo data
    len = cmd->len - MIN_LENGTH;
    for (i = 0; i < len; i++)
        response.data[5 + i] = (cmd->data)[i];
    // CRC erroneo
    response.data[5 + len] = cmd->crc;
    // CRC esperado
    response.data[5 + len + 1] = crc;
    // CRC de la respuesta
    response.crc = generate_8bit_crc((char *)&response, response.len, CRC_PATTERN);

    crcOK = false;
    return;
}

crcOK = true;

// Minimo todos setean esto
response.len = MIN_LENGTH;
response.to = cmd->from & 0x77;
response.from = THIS_CARD;
response.cmd = cmd->cmd | 0x80;

switch (cmd->cmd)
{
    // Comandos comunes
    case COMMON_INIT:
        init();
        // Enviar la descripcion de la placa en texto plano
        strcpy(response.data, DESC);
        response.len += strlen(response.data);
        break;
    case COMMON_RESET:
        // Enviar la descripcion de la placa en texto plano
        strcpy(response.data, DESC);
        response.len += strlen(response.data);
        // Reset!
        reset = true;
        break;
    case COMMON_PING:
        // No hace falta hacer mas nada
        break;
    case COMMON_ERROR:
        // Por ahora se ignora el comando
        break;

    /* Comandos especificos */

    case DC_MOTOR_SET_DIRECTION:
        /* Seteo del sentido de giro del motor
        :DATO:
        0x00 para sentido horario o 0x01 para sentido anti-horario.
        :RESP:
        -
        */
        if (((cmd->data)[0] & 0x01) == 0)
        {
            turn = CLOCKWISE;
        } else {
            turn = UNCLOCKWISE;
        }
    }
}

```

```

    }
break;
case DC_MOTOR_SET_DC_SPEED:
    /* Seteo de la velocidad del motor en cuentas del encoder por segundo
    :DATO:
    0x00 para sentido horario o 0x01 para sentido anti-horario. Numero
    entero de 16 bits con signo, que representa la velocidad en cuentas
    por segundos.
    :RESP:
    -
    */
    if (((cmd->data)[0] & 0x01) == 0)
    {
        turn = CLOCKWISE;
    } else {
        turn = UNCLOCKWISE;
    }
    // A la posicion 1 dentro de cmd->data la tomo como signed long *
    tmp16 = (cmd->data) + 1;
    // Le asigno el valor de la velocidad ajustada a 1 segundo
    counts_expected = (*tmp16) / INTERVAL_CORRECTION;
    // Habilita el motor
    motor_shutdown = 0;
break;
case DC_MOTOR_SET_ENCODER:
    /* Seteo de la cantidad de cuentas historicas del encoder
    :DATO:
    Numero entero de 32 bits con signo, con el valor para setear en el
    historico del encoder.
    :RESP:
    -
    */
    // A la posicion 0 dentro de cmd->data la tomo como signed int32 *
    tmp32 = (cmd->data);
    // Le asigno el valor de las cuentas historicas
    counts_total = (*tmp32);
break;
case DC_MOTOR_GET_ENCODER:
    /* Obtener la cantidad de cuentas historicas del encoder
    :DATO:
    -
    :RESP:
    Numero entero de 32 bits con signo, que representa el valor historico
    del encoder.
    */
    // A la posicion 0 dentro de response->data la tomo como signed int32 *
    tmp32 = (response.data);
    // Le asigno el valor de las cuentas historicas
    (*tmp32) = counts_total;
    // Corrijo el largo del paquete
    response.len += 4;
break;
case DC_MOTOR_RESET_ENCODER:
    /* Resetear las cuentas historicas a cero
    :DATO:
    -
    :RESP:
    -
    */
    counts_total = 0;
break;
case DC_MOTOR_SET_ENCODER_TO_STOP:
    /* Seteo de cuantas cuentas debe girar hasta detenerse
    :DATO:
    Numero entero de 16 bits con signo, que representa la cantidad de
    cuentas del encoder restantes para que el motor se detenga.
    :RESP:
    -
    */
    // A la posicion 0 dentro de cmd->data la tomo como signed long *
    tmp16 = (cmd->data);
    // Le asigno el valor de la velocidad ajustada a 1 segundo
    counts_to_stop = (*tmp16);
    // Habilito el chequeo de cuentas para detener el motor

```

```

        counts_check = 1;
break;
case DC_MOTOR_GET_ENCODER_TO_STOP:
    /* Obtener la cantidad de las cuentas restantes que quedan por
    realizar hasta detenerse.
    :DATO:
    -
    :RESP:
    Numero entero de 16 bits con signo, que representa la cantidad
    de cuentas del encoder restantes para detener el motor.
    */
    // A la posicion 0 dentro de response->data la tomo como signed long *
    tmp16 = (response.data);
    // Le asigno el valor de la velocidad ajustada a 1 segundo
    (*tmp16) = counts_to_stop;
    // Corrijo el largo del paquete
    response.len += 2;
break;
case DC_MOTOR_DONT_STOP:
    /* Deshace los comandos DC_MOTOR_DONT_STOP y DC_MOTOR_GET_ENCODER_TO_STOP,
    deshabilita el conteo de cuentas para frenar y sigue en el estado actual.
    :DATO:
    -
    :RESP:
    -
    */
    counts_check = 0;
break;
case DC_MOTOR_MOTOR_CONSUMPTION:
    /* Numero entero positivo de 16 bits en el rango desde 0x0000 hasta
    0x03FF, que representa el consumo promedio del ultimo segundo.
    :DATO:
    -
    :RESP:
    -
    */
    // A la posicion 0 dentro de response->data la tomo como signed long *
    tmp16 = (response.data);
    // Le asigno el valor del ultimo consumo del motor
    (*tmp16) = last_consumption;
    // Corrijo el largo del paquete
    response.len += 2;
break;
/*case DC_MOTOR_MOTOR_STRESS_ALARM:
break;
case DC_MOTOR_MOTOR_SHUT_DOWN_ALARM:
break;*/
case DC_MOTOR_GET_DC_SPEED:
    /* Obtiene la velocidad del motor en cuentas del encoder por segundo
    :DATO:
    0x00 para sentido horario o 0x01 para sentido anti-horario. Numero
    entero de 16 bits con signo, que representa la velocidad en cuentas
    por segundos.
    :RESP:
    -
    */
    // Sentido de giro del motor
    if (turn == CLOCKWISE)
    {
        (response.data)[0] = 0x00;
    } else {
        (response.data)[0] = 0x01;
    }
    // A la posicion 1 dentro de response->data la tomo como signed long *
    tmp16 = (response.data) + 1;
    // Le asigno el valor de la velocidad ajustada a 1 segundo
    (*tmp16) = counts_real * INTERVAL_CORRECTION;
    // Corrijo el largo del paquete
    response.len += 2;
break;

default:
    response.len++;
    response.cmd = COMMON_ERROR;

```



```

        response.data[0] = 0x01; // Comando desconocido
        break;
    }

    // CRC de la respuesta
    response.crc = generate_8bit_crc((char *)&response, response.len, CRC_PATTERN);

    return;
}

```

## B.4. Placa controladora de sensores

Código fuente de la placa controladora de sensores.

```

//CCS PCM V4.023 COMPILER

#define CARD_GROUP      DISTANCE_SENSOR // Ver protocol.h
#define CARD_ID         1                // Valor entre 0 y E

// ID:0 -> Placa de telemetros
// ID:1 -> Placa de sensores de piso y sensor de ultrasonido
// ID:2 -> Placa de telemetros

// Descripcion de la placa
#define DESC             "PLACA SENSORES 1.0" // Maximo DATA_SIZE bytes

// Determina el tipo de sensores principales en la placa - CAMBIARLO SEGUN CORRESPONDA
// Posibles valores: FLOOR_SENSORS o TELEMETERS_SENSORS o NONE
// #define SENSORS_TYPE  TELEMETERS_SENSORS

// Determina contra que esta conectado el pin TRIGGER - CAMBIARLO SEGUN CORRESPONDA
// Posibles valores: NONE o ULTRASONIC_SENSOR o SWITCH_SENSOR o LED
// #define TRIGGER_TYPE  ULTRASONIC_SENSOR
// #define TRIGGER_TYPE  SWITCH_SENSOR

#if CARD_ID == 0
    #define SENSORS_TYPE  TELEMETERS_SENSORS
    #define TRIGGER_TYPE  SWITCH_SENSOR
    #define DEFAULT_MASK  0x2F
#elif CARD_ID == 1
    #define SENSORS_TYPE  FLOOR_SENSORS
    #define TRIGGER_TYPE  ULTRASONIC_SENSOR
    #define DEFAULT_MASK  0x37
#elif CARD_ID == 2
    #define SENSORS_TYPE  TELEMETERS_SENSORS
    #define TRIGGER_TYPE  SWITCH_SENSOR
    #define DEFAULT_MASK  0x2F
#endif

// Define el estado logico para prender o apagar los sensores - CAMBIARLO SEGUN CORRESPONDA
#define SENSOR_ON        0
#define SENSOR_OFF       1

#define SAMPLES_DEFAULT  5

// Ancho del pulso que se debe enviar al sensor de ultrasonido como INIT - CAMBIARLO SEGUN CORRESPONDA
#define ULTRASONIC_INIT_PULSE_WIDTH_US  15

// Frame de muestreo. Cada este tiempo se realiza una nueva lectura ver CalculoTMR.xls
#define COMPLEMENT_TIME  12411 // 85ms
// Tiempo necesario para realizar la lectura en los telemetros - CAMBIARLO SEGUN CORRESPONDA
#define TELEMETERS_WAITING_TIME_CYCLES  26792 //62ms
#define TELEMETERS_COMPLEMENT_TIME      51161 //23ms complemento a COMPLEMENT_TIME
// Tiempo necesario para realizar la lectura en los sensores de piso - CAMBIARLO SEGUN CORRESPONDA
#define FLOOR_WAITING_TIME_CYCLES        62411 //5ms
#define FLOOR_COMPLEMENT_TIME            15536 //80ms complemento a COMPLEMENT_TIME
// Tiempo necesario para realizar la lectura del sensor de ultrasonido - CAMBIARLO SEGUN CORRESPONDA
#define ULTRASONIC_WAITING_TIME_CYCLES    45536 //32ms
#define ULTRASONIC_COMPLEMENT_TIME       32411 //53ms complemento a COMPLEMENT_TIME

// Tiempo entre el cambio de canal del ADC y una muestra estable (minimo 10us) - CAMBIARLO SEGUN CORRESPONDA
#define ADC_DELAY          20

```

```

/* Modulo Funcionero - main.c
 * PIC16F88 - MAX232 - SENSORES
 */
PIC16F88
-----
SENSE_3 -|RA2/AN2/CVREF/VREF      RA1/AN1|- SENSE_2
SENSE_4 -|RA3/AN3/VREF+/C10UT     RAO/ANO|- SENSE_1
SENSE_5 -|RA4/AN4/TOCKI/C2OUT     RA7/OSC1/CLKI|- XT CLOCK pin1, 27pF to GND
RST/ICD2:MCLR -|RA5/MCLR/VPP       RA6/OSC2/CLKO|- XT CLOCK pin2, 27pF to GND
GND -|VSS                          VDD|- +5v
TRIGGER -|RB0/INT/CCP1             RB7/AN6/PGD/T1OSI|- ICD2:PGD/SENSOR_5
SENSOR_1 -|RB1/SDI/SDA            RB6/AN5/PGC/T1OSO/T1CKI|- ICD2:PGC/SENSOR_4
MAX232:R1OUT -|RB2/SD0/RX/DT       RB5/SS/TX/CK|- MAX232:T1IN
SENSOR_2 -|RB3/PGM/CCP1           RB4/SCK/SCL|- SENSOR_3
-----
*/

#include <16F88.h>
#define ADC = 10
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#define HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#define delay (clock=2000000)

#define rs232(BAUD=115200,PARITY=N,XMIT=PIN_B5,RCV=PIN_B2,BITS=8,ERRORS,TIMEOUT=1,STOP=1,UART1)
#define fast_io(A)
#define fast_io(B)

#define porta=0x05
#define portb=0x06

// MAX232
#define tx=portb.5
#define rx=portb.2

// Pin para el control del sensor de ultrasonido, switch on/off o led
#define trigger=portb.0
// Led
#define led1=portb.0
// Pin para switch On/Off
#define inOnOff=portb.0
// Pin de control del sensor de ultrasonido
#define ultrasonido=portb.0

// Sensores - Base de los transistores
#define sensor1=portb.1
#define sensor2=portb.3
#define sensor3=portb.4
#define sensor4=portb.6
#define sensor5=portb.7

// Sensores - Salida de los sensores (SENSE)
#define sense1=porta.0
#define sense2=porta.1
#define sense3=porta.2
#define sense4=porta.3
#define sense5=porta.4

// Estados para la maquina de estados que controla las funciones de la placa
#define STATE_FREE 0
#define STATE_START_READING 1
#define STATE_WAIT_TO_READ 2
#define STATE_READ_VALUES 3
#define STATE_WAITING 4

// Estados para la lectura del sensor de ultrasonido
#define USONIC_STATE_START 0
#define USONIC_STATE_STOP 1

// Posibles conexiones del pin TRIGGER
```

```

#define NONE (0x00)
#define ULTRASONIC_SENSOR (NONE + 1)
#define SWITCH_SENSOR (ULTRASONIC_SENSOR + 1)
#define LED (SWITCH_SENSOR + 1)

// Posibles sensores principales
#define TELEMETERS_SENSORS (NONE + 1)
#define FLOOR_SENSORS (TELEMETERS_SENSORS + 1)

// Tiempo maximo para NONE
#define NONE_TIME 65530 //0ms
#define SWITCH_TIME 65530 //0ms
#define LED_TIME 65530 //0ms

#if SENSORS_TYPE == FLOOR_SENSORS
    #if TRIGGER_TYPE == ULTRASONIC_SENSOR
        #define SENSORS_WAITING_TIME ULTRASONIC_WAITING_TIME_CYCLES
        #define WAITING_TIME ULTRASONIC_COMPLEMENT_TIME //Complemento 85ms -> 53ms
    #else
        #define SENSORS_WAITING_TIME FLOOR_WAITING_TIME_CYCLES
        #define WAITING_TIME FLOOR_COMPLEMENT_TIME //Complemento 85ms -> 80ms
    #endif
#elif SENSORS_TYPE == TELEMETERS_SENSORS
    #define SENSORS_WAITING_TIME TELEMETERS_WAITING_TIME_CYCLES
    #define WAITING_TIME TELEMETERS_COMPLEMENT_TIME //Complemento 85ms -> 23ms
#elif SENSORS_TYPE == NONE
    #if TRIGGER_TYPE == ULTRASONIC_SENSOR
        #define SENSORS_WAITING_TIME ULTRASONIC_WAITING_TIME_CYCLES
        #define WAITING_TIME ULTRASONIC_COMPLEMENT_TIME //Complemento 85ms -> 53ms
    #else
        #define SENSORS_WAITING_TIME NONE_TIME
        #define WAITING_TIME COMPLEMENT_TIME //85ms
    #endif
#endif

#include <../../protocolo/src/protocol.c>
/*
** Variables definidas en protocol.c

short reset; // Variable para hacer el reset
short crcOK; // Informa si el CRC del paquete parseado fue correcto
short sendResponse; // Informa que no debe mandarse la respuesta automatica

char buffer[MAX_BUFFER_SIZE]; // Buffer de recepcion de comandos
int buffer_write; // Indice de escritura
int buffer_read; // Indice de lectura
int data_length; // Largo de los datos en el buffer

struct command_t command; // Comando parseado
struct command_t response; // Respuesta

** Implementar las siguientes funciones (usadas por el protocolo)

void init(); // Inicializa puertos y variables
void doCommand(struct command_t * cmd); // Examina y ejecuta el comando

***/

// IO como entrada o salida
int trisB_value = 0b00100101;
// Determina el estado actual
int state;
// Vector donde se almacenan los valores de los sensores
unsigned long values[6];
// Cantidad de muestras a tomar por sensor
int samples;
// Mascara que ignora ciertos sensores
int sensorMask;
// Determina cuales sensores estan siendo leidos en este instante
int actualReadSensor;
// Determina cuales son los sensores de los que se pide la lectura
int readSensor;
// Bufferea el pedido de sensores de los que se pide la lectura
int bufferedReadSensor;

```

```

// Determina el destinatario actual
int actalT0;
// Informa quien hizo el pedido
int requestFrom;
// Informa de quien vino el ultimo pedido (mientras habia una lectura en curso)
int bufferedFrom;
// Determina el comando actual
int actalCmd;
// Informa cual fue el comando del pedido
int requestCmd;
// Informa cual fue el comando del ultimo pedido (mientras habia una lectura en curso)
int bufferedCmd;
// Estado para el sensor de ultrasonido
short usonic_state;
// Tiempo para el comienzo del pulso del sensor de ultrasonido
unsigned long pulseStart;
// Flag de aviso sobre la interrupcion en TIMER1
short intTMR;
// Tipo de alarma en trigger
int alarmType;
// Flag de alarma en trigger
short triggerAlarm;

/* Habilita los sensores segun corresponda para comenzar la lectura */
void startReading(int sensors);
/* Realiza la lectura sobre los sensores segun corresponda */
void readSensors(int sensors);
/* Interrupcion del TIMER1 */
void int_timer(void);
/* Interrupcion de RB0 */
void int_trigger(void);
/* Crea la respuesta sobre la lectura de los sensores */
void sendValues(int to, int cmd, long * values, int sensors);

/* Interrupcion del TIMER1 */
#INT_TIMER1
void int_timer(void)
{
    // Habilita el flag de aviso que sucedio la interrupcion
    intTMR = 1;
    disable_interrupts(INT_TIMER1);
}

/* Interrupcion de RB0 */
#INT_EXT
void int_trigger(void)
{
    #if TRIGGER_TYPE == ULTRASONIC_SENSOR
        if (usonic_state == USONIC_STATE_START)
        {
            // Tomo el tiempo en que comienza el pulso
            pulseStart = get_timer1();
            // Cambio el tipo de flanco
            ext_int_edge(H_TO_L);
            // Cambio el estado
            usonic_state = USONIC_STATE_STOP;
        } else {
            // Tomo el tiempo y guardo el valor
            values[5] = (get_timer1() - pulseStart)/2;
            // Deshabilita la interrupcion
            disable_interrupts(INT_EXT);
        }
    #elif TRIGGER_TYPE == SWITCH_SENSOR
        triggerAlarm = 1;
    #endif
}

void init()
{
    // Inicializa puertos
    set_tris_a(0b11111111);
    set_tris_b(trisB_value);

    // ***ADC***

```

```

    setup_port_a(sANO);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    set_adc_channel(0);
    setup_adc_ports(sANO);
    setup_vref(VREF_HIGH | 8);

    // Seteo el Timer1 como fuente interna
    setup_timer_1(T1_INTERNAL | T1_DIV_BY_8);
    set_timer1(26786);

    // Interrupcion sobre el Timer1
    enable_interrupts(INT_TIMER1);

    // Seteo el pin RB0 - Sensor de ultrasonido :)
    ext_int_edge(L_TO_H);
    enable_interrupts(INT_EXT);

    // Habilito las interrupciones
    enable_interrupts(GLOBAL);

    // Variable para hacer el reset
    reset = false;

    // Apaga todos los sensores
    sensor1 = SENSOR_OFF;
    sensor2 = SENSOR_OFF;
    sensor3 = SENSOR_OFF;
    sensor4 = SENSOR_OFF;
    sensor5 = SENSOR_OFF;

    // Inicializa los valores
    values[0] = 0x0000;
    values[1] = 0x0000;
    values[2] = 0x0000;
    values[3] = 0x0000;
    values[4] = 0x0000;
    values[5] = 0x0000;

    // Muestras iniciales
    samples = SAMPLES_DEFAULT;

    // Inicializa la mascara -> todos habilitados (0x3F)
    sensorMask = DEFAULT_MASK;

    //Determina el estado actual
    state = STATE_FREE;

    // Sin lectura temprana
    readSensor = 0x00;
    bufferedReadSensor = 0x00;
    actualTO = 0x00;
    requestFrom = 0x00;
    bufferedFrom = 0x00;
    actualCmd = 0x00;
    requestCmd = 0x00;
    bufferedCmd = 0x00;

    alarmType = 0x00;
    triggerAlarm = 0;
    #if TRIGGER_TYPE == SWITCH_SENSOR
        disable_interrupts(INT_EXT);
    #endif

    #if TRIGGER_TYPE == LED
        // TRIGGER como escritura
        bit_clear(trisB_value, 0);
        set_tris_b(trisB_value);
    #endif

    return;
}

void sendAlarm()
{

```

```

        /*TODO: revisar protocolo*/
        triggerAlarm = 0;
        return;
    }

void main()
{
    // Placa Generica - Implementacion del protocolo
    init();

    // Init del protocol
    initProtocol();

    // FOREVER
    while(true)
    {
        // Ejecucion de la maquina de estados
        switch (state)
        {
            case STATE_FREE:
                /*
                 * Analiza los paquetes y retransmite o lanza el pedido de lectura
                 */
                #if TRIGGER_TYPE == SWITCH_SENSOR
                    // Enviar alarma de trigger
                    if (triggerAlarm == 1)
                        sendAlarm();
                #endif

                // Protocolo
                runProtocol(&command);

                if (readSensor != 0x00)
                {
                    // Almacena el pedido sobre los sensores
                    actualReadSensor = readSensor;
                    readSensor = 0x00;
                    actalTO = requestFrom;
                    actalCmd = requestCmd;
                    // Cambio de estado
                    state = STATE_START_READING;
                }
                break;
            case STATE_START_READING:
                /*
                 * Genera un pedido de lectura a los sensores que lo necesiten
                 * y setea los TIMERS para contabilizar los tiempos
                 */

                // Limpio la variable
                bufferedReadSensor = 0x00;

                // Inhabilita los sensores enmascarados
                actualReadSensor &= sensorMask;

                // Pedido de -START-
                startReading(actualReadSensor);

                // Flag de interrupcion
                intTMR = 0;

                // Seteo de TIMERS
                set_timer1(SENSORS_WAITING_TIME);
                enable_interrupts(INT_TIMER1);

                // Cambio de estado
                state = STATE_WAIT_TO_READ;

                break;
            case STATE_WAIT_TO_READ:
                /*
                 * Espera el tiempo necesario para tomar las muestras en los sensores
                 * Recibe nuevos pedidos y los agraga para una proxima lectura
                 */

```

```

    #if TRIGGER_TYPE == SWITCH_SENSOR
        // Enviar alarma de trigger
        if (triggerAlarm == 1)
            sendAlarm();
    #endif

    // Protocolo
    runProtocol(&command);

    // Almacena el pedido sobre los sensores si no hay otro ya
    if ((readSensor != 0x00) && (bufferedReadSensor == 0x00))
    {
        bufferedReadSensor = readSensor;
        bufferedFrom = requestFrom;
        bufferedCmd = requestCmd;
        readSensor = 0x00;
    }

    // Cambio de estado?
    if (intTMR == 1)
    {
        // El TIMER1 hizo timeout -> leer sensores
        state = STATE_READ_VALUES;
    }

    break;
case STATE_READ_VALUES:
    /*
     * Toma las muestras en los sensores y envia el paquete de respuesta
     */

    // Toma las muestras de los sensores
    readSensors(actualReadSensor);

    // Mandar paquete de respuesta
    sendValues(actalT0, actalCMD, values, actualReadSensor);

    // Flag de interrupcion
    intTMR = 0;

    // Setea el tiempo de espera y pasa al estado de espera
    set_timer1(WAITING_TIME);
    enable_interrupts(INT_TIMER1);

    state = STATE_WAITING;

    break;
case STATE_WAITING:
    /*
     * Espera a que pase el tiempo de espera entre lecturas para evitar rebotes
     * Recibe nuevos pedidos y los agraga para una proxima lectura
     */

    #if TRIGGER_TYPE == SWITCH_SENSOR
        // Enviar alarma de trigger
        if (triggerAlarm == 1)
            sendAlarm();
    #endif

    // Protocolo
    runProtocol(&command);

    // Almacena el pedido sobre los sensores si no hay otro ya
    if ((readSensor != 0x00) && (bufferedReadSensor == 0x00))
    {
        bufferedReadSensor = readSensor;
        bufferedFrom = requestFrom;
        bufferedCmd = requestCmd;
        readSensor = 0x00;
    }

    // Cambio de estado?
    if (intTMR == 1)
    {
        // El TIMER1 hizo timeout
        if (bufferedReadSensor != 0x00)

```

```

        {
            // Hay un pedido pendiente y lo carga
            actualReadSensor = bufferedReadSensor;
            bufferedReadSensor = 0x00;
            actalTO = bufferedFrom;
            actalCmd = bufferedCmd;
            // Cambio de estado
            state = STATE_START_READING;
        } else {
            state = STATE_FREE;
        }
    }
    break;
default:
    init();
    break;
}
}
return;
}

/* Habilita los sensores segun corresponda para comenzar la lectura*/
void startReading(int sensors)
{
    // Sensor1
    if (bit_test(sensors, 0) == 1)
        sensor1 = SENSOR_ON;
    // Sensor2
    if (bit_test(sensors, 1) == 1)
        sensor2 = SENSOR_ON;
    // Sensor3
    if (bit_test(sensors, 2) == 1)
        sensor3 = SENSOR_ON;
    // Sensor4
    if (bit_test(sensors, 3) == 1)
        sensor4 = SENSOR_ON;
    // Sensor5
    if (bit_test(sensors, 4) == 1)
        sensor5 = SENSOR_ON;
    // Sensor6
    #if TRIGGER_TYPE == ULTRASONIC_SENSOR
        // Sensor6 -> ULTRASONIC_SENSOR
        if (bit_test(sensors, 5) == 1)
        {
            // Comienza el pulso de habilitacion -> TRIGGER como escritura
            bit_clear(trisB_value, 0);
            set_tris_b(trisB_value);
            // Pin en estado habilitado -> envio del pulso INIT
            trigger = 1;
            delay_us(ULTRASONIC_INIT_PULSE_WIDTH_US);
            trigger = 0;
            // Termina el pulso de habilitacion -> TRIGGER como lectura
            bit_set(trisB_value, 0);
            set_tris_b(trisB_value);
            // Setea la interrupcion sobre RBO en flanco ascendente
            ext_int_edge(L_TO_H);
            // Seteo el estado actual del pulso del sensor de ultrasonido
            usonic_state = USONIC_STATE_START;
            // Habilita la interrupcion
            enable_interrupts(INT_EXT);
        }
    #elif TRIGGER_TYPE == SWITCH_SENSOR
        // Sensor6 -> SWITCH_SENSOR
        if (bit_test(sensors, 5) == 1)
        {
            if (trigger == 1)
                values[5] = 0xFFFF;
            else
                values[5] = 0;
        }
    #endif
    return;
}

```



```

/* Realiza la lectura sobre los sensores segun corresponda */
void readSensors(int sensors)
{
    int i;
    values[0] = 0;
    values[1] = 0;
    values[2] = 0;
    values[3] = 0;
    values[4] = 0;

    for (i = 0; i < samples; i++)
    {
        // Sensor1
        if (bit_test(sensors, 0) == 1)
        {
            // ADC en el pin correcto
            set_adc_channel(0);
            // Espera el tiempo necesario
            delay_us(ADC_DELAY);
            // Toma la muestra
            values[0] += read_adc();
        }
        // Sensor2
        if (bit_test(sensors, 1) == 1)
        {
            // ADC en el pin correcto
            set_adc_channel(1);
            // Espera el tiempo necesario
            delay_us(ADC_DELAY);
            // Toma la muestra
            values[1] += read_adc();
        }
        // Sensor3
        if (bit_test(sensors, 2) == 1)
        {
            // ADC en el pin correcto
            set_adc_channel(2);
            // Espera el tiempo necesario
            delay_us(ADC_DELAY);
            // Toma la muestra
            values[2] += read_adc();
        }
        // Sensor4
        if (bit_test(sensors, 3) == 1)
        {
            // ADC en el pin correcto
            set_adc_channel(3);
            // Espera el tiempo necesario
            delay_us(ADC_DELAY);
            // Toma la muestra
            values[3] += read_adc();
        }
        // Sensor5
        if (bit_test(sensors, 4) == 1)
        {
            // ADC en el pin correcto
            set_adc_channel(4);
            // Espera el tiempo necesario
            delay_us(ADC_DELAY);
            // Toma la muestra
            values[4] += read_adc();
        }
    }

    /*sensor1 = SENSOR_OFF;
    sensor2 = SENSOR_OFF;
    sensor3 = SENSOR_OFF;
    sensor4 = SENSOR_OFF;
    sensor5 = SENSOR_OFF;*/

    values[0] /= samples;
    values[1] /= samples;
    values[2] /= samples;
    values[3] /= samples;

```

```

        values[4] /= samples;

        return;
    }

    /* Crea la respuesta sobre la lectura de los sensores */
    void sendValues(int to, int cmd, long * values, int sensors)
    {
        int idx = 1, i;
        signed long * tmp16;
        command.len = MIN_LENGTH + 1;
        command.to = to;
        command.from = THIS_CARD;
        command.cmd = cmd;
        command.data[0] = sensors;

        // Valores de los sensores en command.data segun corresponda
        for (i = 0; i < 6; i++)
        {
            if (bit_test(sensors, i) == 1)
            {
                // A la posicion 0 dentro de command.data la tomo como signed long *
                tmp16 = (command.data + idx);
                // Le asigno el valor del sensor
                (*tmp16) = values[i];
                idx+=2;
                command.len += 2;
            }
        }

        command.crc = generate_8bit_crc((char *)&command, command.len, CRC_PATTERN);
        // Envio del comando
        send(&command);

        return;
    }

    /* Verifica que el comando sea valido y lo ejecuta */
    void doCommand(struct command_t * cmd)
    {
        int crc, i, len;
        // Calculo del CRC
        crc = generate_8bit_crc((char *)cmd, cmd->len, CRC_PATTERN);

        // CRC ok?
        if (cmd->crc != crc)
        {
            // Creo respuesta de error
            response.len = MIN_LENGTH + cmd->len + 2 + 1;
            response.to = cmd->from;
            response.from = THIS_CARD;
            response.cmd = COMMON_ERROR;
            response.data[0] = 0x00;
            // Agrego el paquete que contiene el error de CRC
            response.data[1] = cmd->len;
            response.data[2] = cmd->to;
            response.data[3] = cmd->from;
            response.data[4] = cmd->cmd;
            // Campo data
            len = cmd->len - MIN_LENGTH;
            for (i = 0; i < len; i++)
                response.data[5 + i] = (cmd->data)[i];
            // CRC erroneo
            response.data[5 + len] = cmd->crc;
            // CRC esperado
            response.data[5 + len + 1] = crc;
            // CRC de la respuesta
            response.crc = generate_8bit_crc((char *)&response, response.len, CRC_PATTERN);
            crcOK = false;
            return;
        }

        crcOK = true;
    }

```

```

// Minimo todos setean esto
response.len = MIN_LENGTH;
response.to = cmd->from & 0x77;
response.from = THIS_CARD;
response.cmd = cmd->cmd | 0x80;

switch (cmd->cmd)
{
    // Comandos comunes
    case COMMON_INIT:
        init();
        // Enviar la descripcion de la placa en texto plano
        strcpy(response.data, DESC);
        response.len += strlen(response.data);
        break;
    case COMMON_RESET:
        // Enviar la descripcion de la placa en texto plano
        strcpy(response.data, DESC);
        response.len += strlen(response.data);
        // Reset!
        reset = true;
        break;
    case COMMON_PING:
        // No hace falta hacer mas nada
        break;
    case COMMON_ERROR:
        // Por ahora se ignora el comando
        break;

    /* Comandos especificos */

    case DISTANCE_SENSOR_ON_DISTANCE_SENSOR:
        /* Enciende el sensor de distancia indicado.
        :DATO:
        Valor de 0x00 a 0x05 que representa el ID del sensor a encender.
        El ID 0x05 hace referencia al led de la placa si esta presente,
        en caso contrario se ignora.
        :RESP:
        -
        */
        // Enciende los sensores segun corresponda
        if ((cmd->data)[0] == 0)
            // Sensor1
            sensor1 = SENSOR_ON;
        else if ((cmd->data)[0] == 1)
            // Sensor2
            sensor2 = SENSOR_ON;
        else if ((cmd->data)[0] == 2)
            // Sensor3
            sensor3 = SENSOR_ON;
        else if ((cmd->data)[0] == 3)
            // Sensor4
            sensor4 = SENSOR_ON;
        else if ((cmd->data)[0] == 4)
            // Sensor5
            sensor5 = SENSOR_ON;

        #if TRIGGER_TYPE == LED
            else if ((cmd->data)[0] == 5)
                // Led
                led1 = 1;
        #endif

        break;
    case DISTANCE_SENSOR_OFF_DISTANCE_SENSOR:
        /* Apaga el sensor de distancia indicado.
        :DATO:
        Valor de 0x00 a 0x05 que representa el ID del sensor a apagar. El
        ID 0x05 hace referencia al sensor de ultrasonido o switch de la placa.
        :RESP:
        -
        */
        // Apaga los sensores segun corresponda
        if ((cmd->data)[0] == 0)
            // Sensor1
            sensor1 = SENSOR_OFF;

```

```

else if ((cmd->data)[0] == 1)
    // Sensor2
    sensor2 = SENSOR_OFF;
else if ((cmd->data)[0] == 2)
    // Sensor3
    sensor3 = SENSOR_OFF;
else if ((cmd->data)[0] == 3)
    // Sensor4
    sensor4 = SENSOR_OFF;
else if ((cmd->data)[0] == 4)
    // Sensor5
    sensor5 = SENSOR_OFF;

#if TRIGGER_TYPE == LED
    else if ((cmd->data)[0] == 5)
        // Led
        led1 = 0;
#endif

break;
case DISTANCE_SENSOR_SET_MASK:
    /* Habilita o deshabilita cada uno de los sensores de distancia conectados al
    controlador. Permite identificar los sensores a los que se debera tener en
    cuenta para futuras lecturas.
    :DATO:
    Valor de 0x00 a 0x3F donde cada bit representa el ID del sensor a
    habilitar o deshabilitar. Si 2^ID = 1 entonces el sensor ID esta habilitado.
    Si 2^ID = 0 entonces el sensor ID esta deshabilitado.
    :RESP:
    -
    */
    sensorMask = (cmd->data)[0];
break;
case DISTANCE_SENSOR_GET_MASK:
    /* Obtiene el estado de habilitacion de cada uno de los sensores de distancia
    conectados al controlador.
    :DATO:
    -
    :RESP:
    Valor de 0x00 a 0x3F donde cada bit representa el ID del sensor a
    habilitar o deshabilitar. Si 2^ID = 1 entonces el sensor ID esta habilitado.
    Si 2^ID = 0 entonces el sensor ID esta deshabilitado.
    */
    // Envio la mascara de sensores
    response.data[0] = sensorMask;
    // Corrijo el largo del paquete
    response.len++;
break;
case DISTANCE_SENSOR_GET_VALUE:
    /* Obtiene el valor promedio de la entrada de los sensores indicados.
    :DATO:
    Valor de 0x00 a 0x3F donde cada bit representa el ID del sensor
    del cual obtener la lectura.
    :RESP:
    Valor de 0x00 a 0x3F donde cada bit representa el ID del sensor
    del cual proviene el la lectura de distancia. Secuencia de numeros enteros
    positivos de 16 bits en el rango desde 0x0000 hasta 0x03FF, con el valor de
    la lectura que representa la distancia al objeto. En la secuencia de numeros
    el orden esta dado de izquierda a derecha comenzando por el bit menos
    significativo.
    En el caso del sensor de ultrasonido el rango es desde 0x0000 hasta 0x7594
    que representa la minima y maxima lectura del sensor.
    En el caso del switch, un estado logico bajo se lee como 0x0000 y un estado
    logico alto se lee como 0xFFFF.
    */
    readSensor = (cmd->data)[0];
    requestFrom = response.to;
    requestCmd = response.cmd;
    sendResponse = false;
    samples = SAMPLES_DEFAULT;
break;
case DISTANCE_SENSOR_GET_ONE_VALUE:
    /* Obtiene el valor de la entrada del sensor indicado. Igual al comando 8.5 pero
    sin realizar un promedio de lecturas.
    :DATO:
    Valor de 0x00 a 0x3F donde cada bit representa el ID del sensor

```

```

del cual obtener la lectura.
:RESP:
Valor de 0x00 a 0x3F donde cada bit representa el ID del sensor
del cual proviene el la lectura de distancia. Secuencia de numeros enteros
positivos de 16 bits en el rango desde 0x0000 hasta 0x03FF, con el valor de
la lectura que representa la distancia al objeto. En la secuencia de numeros
el orden esta dado de izquierda a derecha comenzando por el bit menos
significativo.
En el caso del sensor de ultrasonido el rango es desde 0x0000 hasta 0x7594
que representa la minima y maxima lectura del sensor.
En el caso del switch, un estado logico bajo se lee como 0x0000 y un estado
logico alto se lee como 0xFFFF.
*/
readSensor = (cmd->data)[0];
requestFrom = response.to;
requestCmd = response.cmd;
sendResponse = false;
samples = 1;
break;
case DISTANCE_SENSOR_ALARM_ON_STATE:
/* Cuando un switch esta presente en el ID: 0x05, establece si se desea o no
recibir una alarma ante cierto cambio de estado en el mismo. Puede ser ante
cualquier cambio o sobre un flanco ascendente o descendente.
:DATO:
Valor entre 0x00 y 0x03 con el tipo de cambio ante el cual generar
la alarma. Con un 0x00 ignora cualquier cambio en el switch. Se utiliza
0x01 para que cualquier cambio en el switch genere el mensaje, 0x02 para
que sea solo ante un flanco ascendente y 0x03 para que sea solo ante un
flanco descendente.
:RESP:
-
*/
#if TRIGGER_TYPE == SWITCH_SENSOR
switch ((cmd->data)[0])
{
case 0x00:
// Ignorar
disable_interrupts(INT_EXT);
break;
case 0x01:
// Cualquier cambio
enable_interrupts(INT_EXT);
break;
case 0x02:
// flanco ascendente
ext_int_edge(H_TO_L);
enable_interrupts(INT_EXT);
break;
case 0x03:
// flanco descendente
ext_int_edge(L_TO_H);
enable_interrupts(INT_EXT);
break;
default:
(cmd->data)[0] = 0x00;
break;
}
alarmType = (cmd->data)[0];
#endif
break;
default:
response.len++;
response.cmd = COMMON_ERROR;
response.data[0] = 0x01; // Comando desconocido
break;
}

// CRC de la respuesta
response.crc = generate_8bit_crc((char *)&response, response.len, CRC_PATTERN);

return;
}

```

## B.5. Placa controladora de servo motores

Código fuente de la placa controladora de servo motores.

```
//CCS PCM V4.023 COMPILER

#define CARD_GROUP      SERVO_MOTOR    // Ver protocol.h
#define CARD_ID         0              // Valor entre 0 y E

// Descripcion de la placa
#define DESC            "SERVOR CONTROL - 1.0" // Maximo DATA_SIZE bytes

/* Modulo Servo - main.c
 * PIC16F88 - MAX232 - SERVO
 *
 *
 *                               PIC16F88
 *
 * -----
 * MOTOR_4 -|RA2/AN2/CVREF/VREF          RA1/AN1|- MOTOR_5
 * LED -|RA3/AN3/VREF+/C1OUT           RAO/ANO|-
 * LED -|RA4/AN4/T0CKI/C2OUT          RA7/OSC1/CLKI|- XT CLOCK pin1, 27pF to GND
 * RST/ICD2:MCLR -|RA5/MCLR/VPP        RA6/OSC2/CLKO|- XT CLOCK pin2, 27pF to GND
 * GND -|VSS                          VDD|- +5v
 * MOTOR_1 -|RB0/INT/CCP1             RB7/AN6/PGD/T1OSI|- ICD2:PGD
 * MOTOR_2 -|RB1/SDI/SDA             RB6/AN5/PGC/T1OSO/T1CKI|- ICD2:PGC
 * MAX232:R1OUT -|RB2/SDO/RX/DI       RB5/SS/TX/CK|- MAX232:T1IN
 * ICD2:PGM/-|RB3/PGM/CCP1           RB4/SCK/SCL|-
 * MOTOR_3 '-----'
 *
 */

#include <16F88.h>
#DEVICE ADC = 10
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay (clock=20000000)

#use rs232(BAUD=115200,PARITY=N,XMIT=PIN_B5,RCV=PIN_B2,BITS=8,ERRORS,TIMEOUT=1,STOP=1,UART1)
#use fast_io(A)
#use fast_io(B)

#byte porta=0x05
#byte portb=0x06

// Led
#bit led1=porta.1
#bit led2=porta.4

// MAX232
#bit tx=portb.5
#bit rx=portb.2

// PWMs
#bit pwm1=portb.0
#bit pwm2=portb.1
#bit pwm3=portb.3
#bit pwm4=porta.2
#bit pwm5=porta.1

#include <../protocol/src/protocol.c>
/*
** Variables definidas en protocolo.c

short reset; // Variable para hacer el reset
short crcOK; // Informa si el CRC del paquete parseado fue correcto
short sendResponse; // Informa que no debe mandarse la respuesta automatica

char buffer[MAX_BUFFER_SIZE]; // Buffer de recepcion de comandos
int buffer_write;               // Indice de escritura
int buffer_read;               // Indice de lectura
int data_length;               // Largo de los datos en el buffer
```

```

struct command_t command;      // Comando parseado
struct command_t response;     // Respuesta

** Implementar las siguientes funciones (usadas por el protocolo)

void init(); // Inicializa puertos y variables
void doCommand(struct command_t * cmd); // Examina y ejecuta el comando

***/

// Software PWM - Minimo 1750 (~0.71ms)
#define PULSE_MIN      1750
// Tiempo maximo que puede durar un pulso - Maximo 6755(~2.71ms)
#define PULSE_MAX      6755
// Tiempo entre pulsos (~25ms -> ~22.29ms fijos de espera)
#define PWM_MAX        62500
// 1 ~ 27.8 cuentas ~ 69.4us
#define DEGREE         27.8f

// Valor que representa el ancho del pulso para cada servo
long pwm_t[5];
// Angulo de cada servo
long pos[5];
// On/Off de cada servo
short servo[5];

void init()
{
    // Inicializa puertos
    set_tris_a(0b11100001);
    set_tris_b(0b11110100);

    // Seteo el Timer1 como fuente interna
    setup_timer_1(T1_INTERNAL | T1_DIV_BY_2);
    set_timer1(0);

    // Variable para hacer el reset
    reset = false;

    // Valor que representa el ancho del pulso para cada servo
    pwm_t[0] = PULSE_MIN;
    pwm_t[1] = PULSE_MIN;
    pwm_t[2] = PULSE_MIN;
    pwm_t[3] = PULSE_MIN;
    pwm_t[4] = PULSE_MIN;

    // Angulo de cada servo
    pos[0] = 0;
    pos[1] = 0;
    pos[2] = 0;
    pos[3] = 0;
    pos[4] = 0;

    // On/Off de cada servo
    servo[0] = 0;
    servo[1] = 0;
    servo[2] = 0;
    servo[3] = 0;
    servo[4] = 0;

    // Activo los servos segun este o no habilitado
    pwm1 = servo[0];
    pwm2 = servo[1];
    pwm3 = servo[2];
    pwm4 = servo[3];
    pwm5 = servo[4];

    return;
}

void main()
{
    short check_comm = 0;
    long tmr1;

```

```

// Control de servomotores
init();

// Init del protocol
initProtocol();

// FOREVER
while(true)
{
    // Software PWM

    // Tomo el tiempo
    tmr1 = get_timer1();

    // Es hora de reiniciar el pulso?
    if (tmr1 >= PWM_MAX)
    {
        // Detiene el analisis de comandos
        check_comm = 0;
        // Inicio del periodo
        set_timer1(0);
        // Activo los servos segun este o no habilitado
        pwm1 = servo[0];
        pwm2 = servo[1];
        pwm3 = servo[2];
        pwm4 = servo[3];
        pwm5 = servo[4];
    } else
    // Llego al final del pulso?
    if (tmr1 >= PULSE_MAX)
    {
        // Pone las salidas a 0
        pwm1 = 0;
        pwm2 = 0;
        pwm3 = 0;
        pwm4 = 0;
        pwm5 = 0;
        // Analiza si hay comandos para ser atendidos
        check_comm = 1;
    } else {
        // Tomo el tiempo
        tmr1 = get_timer1();

        // Es tiempo de desactivar el PWM?
        if (tmr1 >= pwm_t[0])
            pwm1 = 0;
        if (tmr1 >= pwm_t[1])
            pwm2 = 0;
        if (tmr1 >= pwm_t[2])
            pwm3 = 0;
        if (tmr1 >= pwm_t[3])
            pwm4 = 0;
        if (tmr1 >= pwm_t[4])
            pwm5 = 0;
    }

    // Protocolo
    if (check_comm == 1)
        runProtocol(&command);
}

return;
}

/* Verifica que el comando sea valido y lo ejecuta */
void doCommand(struct command_t * cmd)
{
    int crc, i, len;

    // Calculo del CRC
    crc = generate_8bit_crc((char *)cmd, cmd->len, CRC_PATTERN);

```



```

// CRC ok?
if (cmd->crc != crc)
{
    // Creo respuesta de error
    response.len = MIN_LENGTH + cmd->len + 2 + 1;
    response.to = cmd->from;
    response.from = THIS_CARD;
    response.cmd = COMMON_ERROR;
    response.data[0] = 0x00;
    // Agrego el paquete que contiene el error de CRC
    response.data[1] = cmd->len;
    response.data[2] = cmd->to;
    response.data[3] = cmd->from;
    response.data[4] = cmd->cmd;
    // Campo data
    len = cmd->len - MIN_LENGTH;
    for (i = 0; i < len; i++)
        response.data[5 + i] = (cmd->data)[i];
    // CRC erroneo
    response.data[5 + len] = cmd->crc;
    // CRC esperado
    response.data[5 + len + 1] = crc;
    // CRC de la respuesta
    response.crc = generate_8bit_crc((char *)&response, response.len, CRC_PATTERN);

    crcOK = false;
    return;
}

crcOK = true;

// Minimo todos setean esto
response.len = MIN_LENGTH;
response.to = cmd->from & 0x77;
response.from = THIS_CARD;
response.cmd = cmd->cmd | 0x80;

switch (cmd->cmd)
{
    // Comandos comunes
    case COMMON_INIT:
        init();
        // Enviar la descripcion de la placa en texto plano
        strcpy(response.data, DESC);
        response.len += strlen(response.data);
        break;
    case COMMON_RESET:
        // Enviar la descripcion de la placa en texto plano
        strcpy(response.data, DESC);
        response.len += strlen(response.data);
        // Reset!
        reset = true;
        break;
    case COMMON_PING:
        // No hace falta hacer mas nada
        break;
    case COMMON_ERROR:
        // Por ahora se ignora el comando
        break;

    /* Comandos especificos */

    case SERVO_MOTOR_SET_POSITION:
        /* Determina la posicion en la que debe colocarse el
        servo motor indicado.
        :DATO:
        Valor de 0x00 a 0x04 que determina el id del servo al
        que se le aplicara la posicion. Valor entre 0x00 y 0xB4
        que representa el rango de 0 a 180 con 1 de presicion.
        :RESP:
        -
        */
        i = ((cmd->data)[0] & 0x07); // Servo destinatario
        if (i < 5)

```

```

        {
            servo[i] = 1;
            pos[i] = (unsigned char)((cmd->data)[1]);
            pwm_t[i] = PULSE_MIN + pos[i] * DEGREE;
        }
    break;
case SERVO_MOTOR_SET_ALL_POSITIONS:
    /* Determina las posiciones en la que deben colocarse
    cada uno de los servomotores
    :DATO:
    Consta de 5 valores entre 0x00 y 0xB4 concatenados, uno
    para cada uno de los servos conectados al controlador.
    Cada valor representa el rango de 0 a 180 con 1 de presicion.
    :RESP:
    -
    */
    for (i = 0; i < 5; i++)
    {
        servo[i] = 1;
        pos[i] = (unsigned char)((cmd->data)[i]);
        pwm_t[i] = PULSE_MIN + pos[i] * DEGREE;
    }
    break;
case SERVO_MOTOR_GET_POSITION:
    /* Obtiene la ultima posicion del servomotor indicado.
    :DATO:
    Valor de 0x00 a 0x04 que determina el id del servo del que
    se requiere la posicion.
    :RESP:
    Valor de 0x00 a 0x04 que determina el id del servo del que
    se requirio la posicion. Valor entre 0x00 y 0xB4 que representa
    el rango de 0 a 180 con 1 de presicion.
    */
    i = ((cmd->data)[0] & 0x07); // Servo destinatario
    if (i < 5)
    {
        response.data[0] = pos[i];
        response.len++;
    }
    break;
case SERVO_MOTOR_GET_ALL_POSITIONS:
    /* Obtiene las ltimas posiciones de todos los servomotor
    conectados al controlador.
    :DATO:
    -
    :RESP:
    Consta de 5 valores entre 0x00 y 0xB4 concatenados, uno para
    cada uno de los servos conectados al controlador. Cada valor
    representa el rango de 0 a 180 con 1 de presicion.
    */
    response.data[0] = pos[0];
    response.data[1] = pos[1];
    response.data[2] = pos[2];
    response.data[3] = pos[3];
    response.data[4] = pos[4];
    response.len += 5;
    break;
case SERVO_MOTOR_SET_SERVO_SPEED:
    /* Determina la velocidad a la que el servomotor indicado
    llegara a la posicion.
    :DATO:
    Valor de 0x00 a 0x04 que determina el id del servo al que
    se le aplicara la velocidad. Valor entre 0x00 y 0xB4,
    velocidad en grados por segundo.
    :RESP:
    -
    */
    break;
case SERVO_MOTOR_SET_ALL_SPEEDS:
    /* Determina las velocidades a la que cada uno de los
    servomotores llegara a la posicion indicada.
    :DATO:
    Consta de 5 valores entre 0x00 y 0xB4 concatenados, uno
    para cada uno de los servos conectados al controlador.

```

```

        Cada valor representa a la velocidad en grados por segundo.
        :RESP:
        -
        */
    break;
    case SERVO_MOTOR_GET_SERVO_SPEED:
        /* Obtiene la velocidad asignada al servomotor indicado.
        :DATO:
        Valor de 0x00 a 0x04 que determina el id del servo del que
        se requiere la velocidad.
        :RESP:
        Valor de 0x00 a 0x04 que determina el id del servo del que
        se requirio la velocidad. Valor entre 0x00 y 0xB4, velocidad
        en grados por segundo.
        */
    break;
    case SERVO_MOTOR_GET_ALL_SPEEDS:
        /* Obtiene las velocidades de cada uno de los servomotor
        conectados al controlador.
        :DATO:
        -
        :RESP:
        Consta de 5 valores entre 0x00 y 0xB4 concatenados, uno para
        cada uno de los servos conectados al controlador. Cada valor
        representa a la velocidad en grados por segundo.
        */
    break;
    case SERVO_MOTOR_FREE_SERVO:
        /* Deja de aplicar fuerza sobre el servo indicado.
        :DATO:
        Valor de 0x00 a 0x04 que determina el id del servo a liberar.
        :RESP:
        -
        */
        i = ((cmd->data)[0] & 0x07); // Servo destinatario
        if ((i < 5) && (i >= 0))
        {
            servo[i] = 0;
        }
    break;
    case SERVO_MOTOR_FREE_ALL_SERVOS:
        /* Deja de aplicar fuerza sobre cada uno de los servomotor
        conectados al controlador.
        :DATO:
        -
        :RESP:
        -
        */
        servo[0] = 0;
        servo[1] = 0;
        servo[2] = 0;
        servo[3] = 0;
        servo[4] = 0;
    break;
    default:
        response.len++;
        response.cmd = COMMON_ERROR;
        response.data[0] = 0x01; // Comando desconocido
    break;
}

// CRC de la respuesta
response.crc = generate_8bit_crc((char *)&response, response.len, CRC_PATTERN);

return;
}

```

## C. Costo del prototipo

Principales costos de armado del prototipo.

Cantidad	Detalle	Unitario	Total
1	Netbook	2451	2451
1	Adaptador USB - Serial RS232	90	90
10	Microcontrolador PIC16F88	23	230
4	Placa genérica	97	388
2	Placa controladora motor DC	151	302
2	Motorreductor IGNIS MR2-FA	50	100
2	Driver L298	21	42
4	Placa controladora de sensores	106	424
8	Telómetro infrarrojo GP2D120	35	280
1	Sensor de ultrasonido SRF05	106	106
5	Sensor de piso CNY70	10	50
1	Batería 12v 7Ah	85	85
1	Cargador de batería automático	68	68
1	Rueda castor 30C	11	11
1	Rueda castor 40C	14	14
2	Rueda 100x26	30	60

Cuadro 22: Lista de materiales.