

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

29 de julio 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

1. Requerimientos	6
2. Ideas de implementación	6
2.1. Locomoción	6
2.2. Sensado del entorno	6
2.3. Controlador	6
2.4. Método de recolección	6
3. Actuadores	6
3.1. Motores de continua	6
3.1.1. Características	6
3.1.2. Circuito de control	7
3.1.3. Rutinas de control	8
3.2. Servo motores	9
3.2.1. Circuito de control	9
3.2.2. Rutinas de control	10
4. Sensado	10
4.1. Telémetros infrarrojos	10
4.1.1. Características	10
4.1.2. Circuito de control	11
4.1.3. Rutinas de control	11
4.2. Sensor de distancia por ultrasonido	12
4.2.1. Características	12
4.2.2. Circuito de control	12
4.2.3. Rutinas de control	13
4.3. Sensor reflectivo de piso	13
4.3.1. Características	14
4.3.2. Circuito de control	14
4.3.3. Rutinas de control	15
4.4. Encoders	15
4.4.1. Características	15
4.4.2. Circuito de control	15
4.4.3. Rutinas de control	16
4.5. Sensado de la batería	16
4.6. Consumo del motor	17
4.6.1. Pulsador u otro dispositivo disparador	17
4.6.2. Rutinas de control	17
5. Controladores	18
5.1. Netbook	18
5.2. Microcontrolador	18
5.2.1. Características	18
5.2.2. Módulos internos	18
5.2.3. Programación del firmware	20

6. Comunicación	20
6.1. Conectividad entre módulos	21
6.2. Protocolo de comunicación	21
6.2.1. Comandos comunes	22
6.2.2. Comandos específicos	23
6.2.3. Estadísticas	23
7. Placas controladoras	23
7.1. Placa genérica	25
7.1.1. Características principales	25
7.1.2. Módulo de comunicación	27
7.1.3. Alimentación de la placa	27
7.1.4. Configuración	30
7.1.5. Esquemático	30
7.1.6. Circuito	31
7.1.7. Código básico	31
7.1.8. Posibles extensiones	31
7.2. Placa controladora de motores DC	33
7.2.1. Características principales	33
7.2.2. Comunicación	33
7.2.3. Alimentación de la placa	33
7.2.4. Configuración	34
7.2.5. Esquemático	34
7.2.6. Circuito	35
7.2.7. Código básico	35
7.2.8. Posibles extensiones	37
7.3. Placas de sensado	37
7.3.1. Características principales	37
7.3.2. Módulo de comunicación	38
7.3.3. Alimentación de la placa	38
7.3.4. Configuración	38
7.3.5. Esquemático	39
7.3.6. Circuito	39
7.3.7. Código básico	39
7.3.8. Posibles extensiones	41
7.4. Placa controladora de servo motores	41
7.4.1. Características principales	41
7.4.2. Módulo de comunicación	41
7.4.3. Alimentación de la placa	41
7.4.4. Configuración	41
7.4.5. Esquemático	41
7.4.6. Circuito	42
7.4.7. Código básico	42
7.4.8. Posibles extensiones	42
8. Armado del prototipo	42
8.1. Diseño	42
8.2. Características	42
8.3. Desarme	42
8.4. Costo y proveedores	42

A. Primer apéndice Hardware	43
B. Segundo apéndice Hardware	43

Índice de cuadros

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

Índice de figuras

1. Vista lateral y frontal del motor Ignis MR-2FA.	7
2. Diagrama interno del driver <i>L298</i>	8
3. Diagrama de tiempos del sensor GP2D120.	11
4. Voltaje de salida según la distancia al objeto del telémetro GP2D120. .	11
5. Ángulo de apertura según la distancia del telémetro GP2D120. .	11
6. Haz ultrasónico del sensor SRF05.	13
7. Diagrama de tiempos del sensor SRF05.	13
8. Medidas en milímetros del sensor CNY70.	14
9. Principio de funcionamiento reflectivo del sensor CNY70.	14
10. Corriente en el colector según la distancia del sensor CNY70. . .	14
11. Divisor de tensión para el sensado de la batería.	16
12. Diagrama del microcontrolador PIC16F88.	19
13. Módulos internos del microcontrolador PIC16F88.	19
14. Diagrama general del método daisy chain	21
15. Conectores RJ11 (6P4C) y DB9.	27
16. Bornera de alimentación.	30
17. Microcontrolador y headers	30
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.	36
28.	Capas superior e inferior de la placa controladora de motores DC.	37
29.	Microcontrolador y header de programación.	39
30.	Comunicación, llaves de modo y conectores de entrada y salida.	39
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.	40
34.	Capas superior e inferior de la placa controladora de sensores.	41

1. Requerimientos

2. Ideas de implementación

2.1. Locomoción

distintos tipos de locomocion que tuvimos en cuenta y porque elegimos este

2.2. Sensado del entorno

distintos tipos de sensores disponibles y porque elegimos estos

2.3. Controlador

distintas formas de diagramar la forma de control, que tipo de controladores necesitamos, en cuales pensamos, con cuales nos quedamos

2.4. Método de recolección

distintos metodos que se nos ocurrieron

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.

3.1. Motores de continua

Para la tracción principal de las ruedas necesitabamos 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 logramos poder garantizar una velocidad determinada en las ruedas, controlar de la cantidad de movimiento en forma independiente en cada rueda y entre otras cosas conocer la cantidad de las vueltas dadas por cada una de las ruedas.

3.1.1. Características

Los motores que elegimos son de la marca Ignis¹ modelo *MR-2FA* con características expresadas en el cuadro 1, 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 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 4.4. La caja reductora provee una relación de 94 vueltas del motor por cada 1 vuelta del eje de salida de la caja.

¹<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.

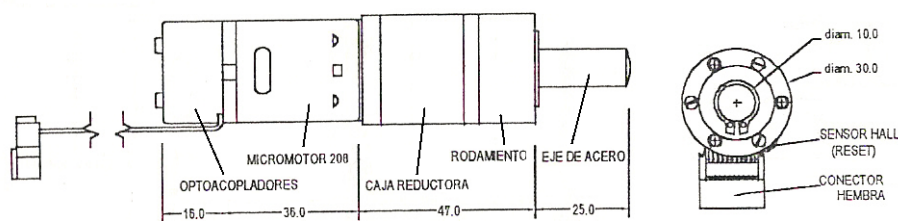


Figura 1: Vista lateral y frontal del motor Ignis MR-2FA.

3.1.2. Circuito de control

Para alimentar y poder controlar los motores elegimos el driver *L298* de la marca ST². Internamente tiene dos puentes H puentesables y puede soportar hasta 4A. Esto lo logramos teniendo las salidas 1 y 2 están puenteadas con las salidas 4 y 3 respectivamente, como mostramos en el diagrama de la figura 24. Ideal para estos motores u otros que se elijan en el futuro.

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 dio 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, se controla 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 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 este tiene para realizar el movimiento. Cuanto mayor es el tiempo en estado alto del pulso, mayor la potencia.

²<http://www.st.com>

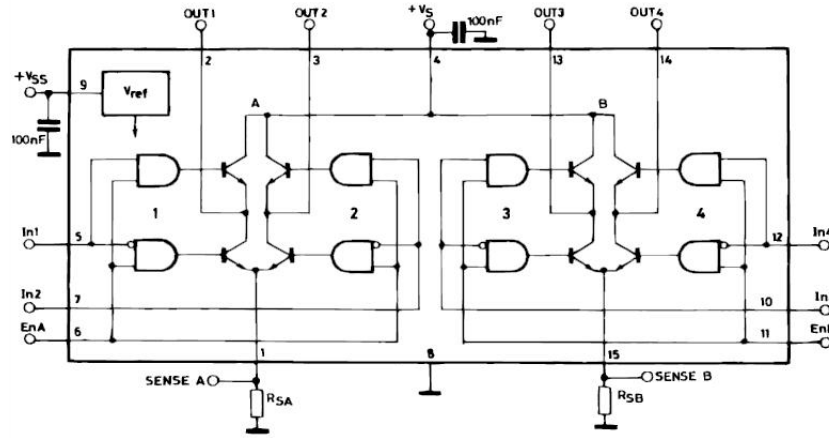


Figura 2: Diagrama interno del driver L298.

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*.

Para contrarrestar la corriente negativa en las salidas del driver usamos los 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 5.2.2. Conociendo el valor de la resistencia y el valor leído por el módulo de *ADC*, pudimos determinar cuanta 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 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.

En la sección 7.2 explicamos el desarrollo de la placa controladora de estos motores.

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	μs	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.

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 este el eje del motor y este 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 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 Hextronik³ con características que expresamos en el cuadro 3

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 se debe setear la posición depende el modelo.

³<http://www.hextronik.com/>

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° (aproximadamente $69,4\mu s$).

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 7.3 explicamos el diseño y construcción de las placas que controlan todos los sensores del robot.

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 se calcula la distancia entre el sensor y el objeto reflectivo que se encuentra frente a él.

4.1.1. Características

Los telémetros infrarrojos que elegimos son de la marca Sharp⁴, modelo *GP2D120*. En el cuadro 4 detallamos los valores característicos del modelo.

Este tipo de sensores tienen un retardo de aproximadamente $43,1ms$ durante el cual la lectura que se realiza 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.

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

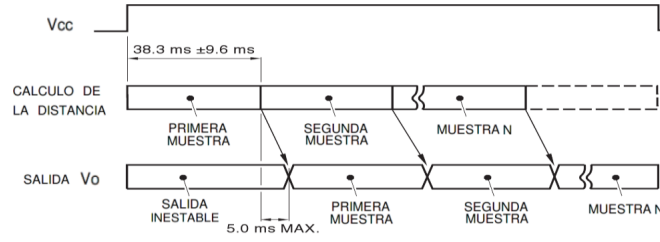


Figura 3: Diagrama de tiempos del sensor GP2D120.

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.

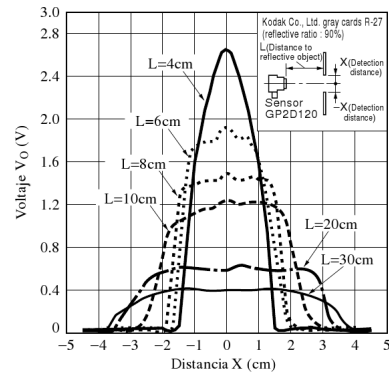
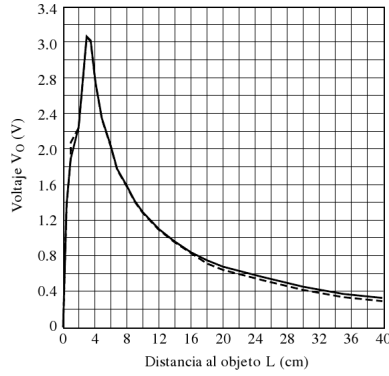


Figura 4: Voltaje de salida según la distancia al objeto del telémetro GP2D120.

Figura 5: Ángulo de apertura según la distancia del telémetro GP2D120.

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 7.3.7.

4.2. Sensor de distancia por ultrasonido

Estos sensores de distancia se basan en la velocidad del sonido para calcular la distancia al objetivo. Genera 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.

4.2.1. Características

El sensor de distancia por ultrasonido que elegimos es el modelo *SRF05* de la marca Devantech Ltd⁵. 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	μs	10
Duración del pulso eco de salida	μs	100 - 25000
Tiempo mínimo de espera entre mediciones	ms	50
Dimensiones	mm	43x23x40

Cuadro 5: Características del sensor SRF05.

4.2.2. Circuito de control

No necesitamos de un driver para manejar al sensor ya que lo conectamos directo a los $5v$ 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 en 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.

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.

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

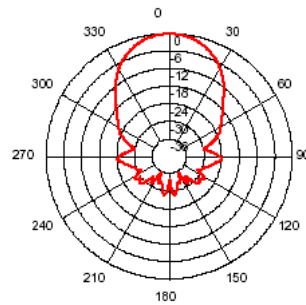


Figura 6: Haz ultrasónico del sensor SRF05.

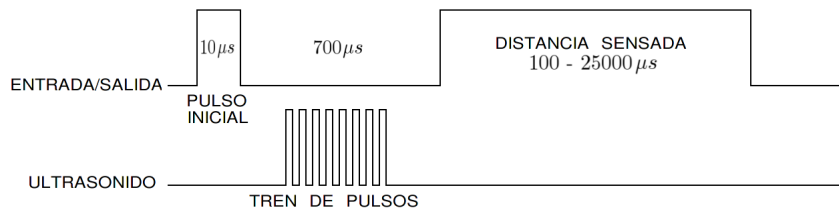


Figura 7: Diagrama de tiempos del sensor SRF05.

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 termino 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.

4.3. Sensor reflectivo de piso

Estos sensores opticos 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.

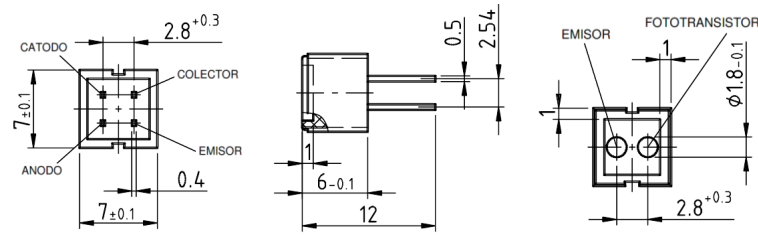


Figura 8: Medidas en milímetros del sensor CNY70.

4.3.1. Características

Los sensores que elegimos para son del modelo *CNY70* de la marca Vishay Semiconductor⁶.

El rango efectivo de sensado ronda los $3mm$ 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 $3A$ por un tiempo menor o igual a $10\mu s$.

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

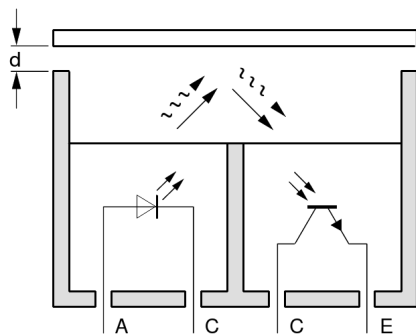


Figura 9: Principio de funcionamiento reflectivo del sensor CNY70.

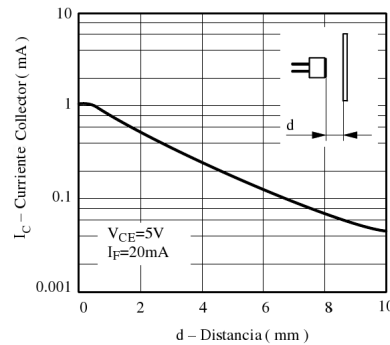


Figura 10: Corriente en el colector según la distancia del sensor CNY70.

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 dio 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*.

⁶<http://www.vishay.com/>

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

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. 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.

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.

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. Están colocados así 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.

Nosotros 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 a 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.

Dependiendo el tamaño de las ruedas será la velocidad de final del robot. La relación de caja de 94 : 1 del motor.

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.

4.4.3. Rutinas de control

Como explicamos en la sección 3.1.3, en cada interrupción del 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.

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.

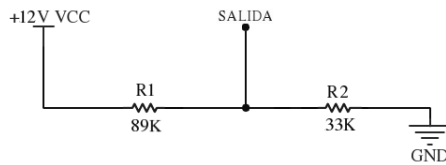


Figura 11: Divisor de tensión para el sensado de la batería.

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.

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. Esta 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.

4.6.1. Pulsador u otro dispositivo disparador

Ademas de los sensores que describimos, pensamos que nos podrían hacer falta pulsadores para controlar funciones simples por ejemplo saber cuando una parte de algún mecanismo llega a cierto punto o detectar finales de carrera de un servo o 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 7.3 y 7.4.

4.6.2. Rutinas de control

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

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.

5.1. Netbook

Elegimos como controlador principal la netbook *EeePC 1005-HA* de la marca Asus⁷. Como características principales cuenta con un procesador Intel⁸ 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 Ubuntu⁹ como sistema operativo y programamos tanto la lógica de comportamientos como la captura y análisis de imágenes en C/C++.

5.2. Microcontrolador

Para el control de la velocidad de los motores, lectura de los encoders y los sensores de distancia usamos un microcontrolador. Nuestro diseño contempló la existencia de varios módulos con una o pocas funciones simples que se comunicaran entre ellos y con el controlador principal, en 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 6.

5.2.1. Características

El microcontrolador que elegimos para realizar las tareas de control, configuración y comunicación a bajo nivel es el *PIC16F88* de Microchip¹⁰. 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.

El microcontrolador tiene 2 puertos de 8 entradas y salidas cada uno de tipo TTL y CMOS. Como mostramos en la figura 12 cada pin se encuentra multiplexado con uno o más periféricos internos.

5.2.2. Módulos internos

Internamente el microcontrolador tiene una serie de periféricos que proveen de funciones extras y que utilizamos para lograr cumplir con las necesidades de

⁷<http://www.asus.com/>

⁸<http://www.intel.com/>

⁹<http://www.ubuntu.com/>

¹⁰<http://www.microchip.com/>

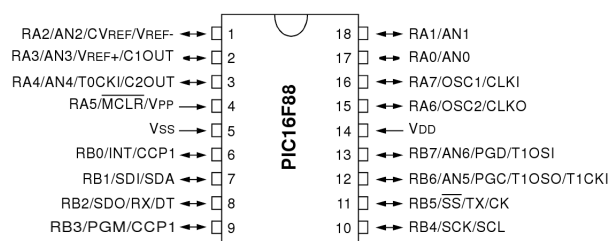


Figura 12: Diagrama del microcontrolador PIC16F88.

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 dio 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.

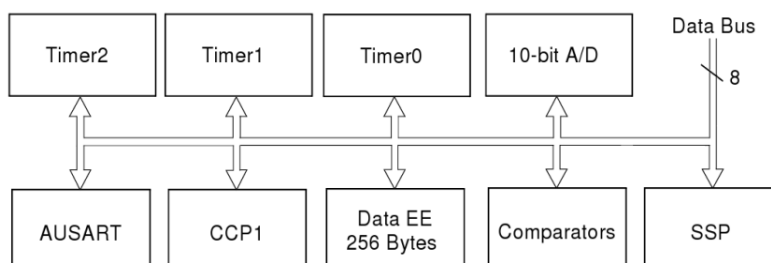


Figura 13: Módulos internos del microcontrolador PIC16F88.

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*.

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 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.

5.2.3. Programación del firmware

El firmware de cada microcontrolador lo escribimos en C y usamos la IDE de programación *Microchip MPLAB*¹¹ con el compilador *CCS PCM V4.023*¹². Usamos el programador *ICD2* de la empresa *Microchip* para descargar código compilado al microcontrolador. El cual nos dio la posibilidad de debuguear el código en más de una oportunidad. Mediante el header de programación en circuito que detallamos en el cuadro 8, establecemos la interface con el programador *ICD2* para cargar el firmware en el microcontrolador o para debuguearlo.

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 del proyecto.

¹¹<http://www.microchip.com/>

¹²<http://www.ccsinfo.com/>

6.1. Conectividad entre módulos

Para establecer el canal de comunicaciones decidimos emplear una configuración basada en el método *Daisy-Chain*¹³ entre los controladores. Creando un anillo donde cada nodo de la cadena se comunica con su vecino retransmitiendo cada paquete hacia adelante hasta su destinatario como mostramos en la figura 14.

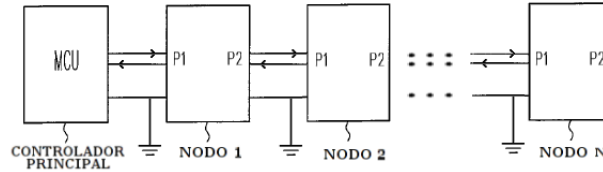


Figura 14: Diagrama general del método daisy chain

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 o colocar una ficha nula que interconecte *TX* con *RX* o cambiar el switch de configuración de *LINK* a *LAST*.

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.

¹³Patente US20090316836A1

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 detras, consta de 1 byte. Necesario porque el campo *DATO* es de longitud variable, si la longitud del campo *DATO* es cero, 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, entonces 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.

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 colocandolo en el campo *CRC*. Cuando un paquete se encuentre con errores o esté mal formado, el destinatario debería pedir la retransmisión. De igual forma, creimos 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.

6.2.1. Comandos comunes

Creamos comandos que son comunes a cualquier placa sea cual sea su grupo. La intención de esto 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 12 listamos y explicamos brevemente los comandos comunes del protocolo.

Comando: <i>INIT</i> . Sincroniza el inicio de todas las placas en la cadena.	
0x01	Vacío
Respuesta	
0x81	Descripción de la placa en texto plano.
Comando: <i>RESET</i> . Pide el reset de la tarjeta.	
0x02	Vacío
Respuesta	
0x82	Descripción de la placa en texto plano.
Comando: <i>PING</i> . Envía un ping a la placa.	
0x03	Vacío
Respuesta	
0x83	Vacío
Comando: <i>ERROR</i> . Informa que ha habido un error.	
0x04	Código de error.
Respuesta	
0x00	Único comando sin respuesta directa. Paquete original.

Cuadro 12: Comandos comunes a todos los controladores.

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 listado. Los comandos específicos para cada grupo deben ser desde 0x40 hasta el valor 0x7E.

El *MAIN CONTROLLER* no posee por ahora ningún comando específico pero le reservamos el espacio en el protocolo. En los cuadros 13 y 14 enumeramos los comandos para el controlador *DC MOTOR*. El controlador *SERVO MOTOR* responde a los comandos de los cuadros y En el cuadro 17 listamos los comandos del controlador *DISTANCE SENSOR*. De igual forma, aunque no esten implementados reservamos y especificamos los comandos para *BATTERY CONTROLLER* y *TRASH BIN* en los cuadros 18 y 19 respectivamente.

6.2.3. Estadísticas

análisis de paquetes por segundo, bytes de datos vs bytes de header, retransmisiones, etc

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.

<i>SET DIRECTION.</i> Seteo del sentido de giro del motor.	
0x40	Sentido de giro.
Respuesta	
0xC0	Vacío.
<i>SET DC SPEED.</i> Seteo de la velocidad del motor.	
0x01	Sentido de giro y velocidad en cuentas por segundos.
Respuesta	
0xC1	Vacío.
<i>SET ENCODER.</i> Seteo de las cuentas históricas del encoder.	
0x42	Valor para setear en el histórico del encoder.
Respuesta	
0xC2	Vacío.
<i>GET ENCODER.</i> Obtener las cuentas históricas del encoder.	
0x43	Vacío.
Respuesta	
0xC3	Valor histórico del encoder.
<i>RESET ENCODER.</i> Resetear las cuentas históricas a cero.	
0x44	Vacío.
Respuesta	
0xC4	Vacío.
<i>SET ENCODER TO STOP.</i> Seteo de cuantas cuentas para detenerse.	
0x45	Cuentas del encoder restantes para que el motor se detenga.
Respuesta	
0xC5	Vacío.
<i>GET ENCODER TO STOP.</i> Obtener la cuentas restantes hasta detenerse.	
0x46	Vacío.
Respuesta	
0xC6	Cuentas del encoder restantes para que el motor se detenga.
<i>DONT STOP.</i> Deshabilita el conteo de cuentas para frenar.	
0x47	Vacío.
Respuesta	
0xC7	Vacío.
<i>MOTOR CONSUMPTION.</i> Consulta sobre el consumo actual del motor.	
0x48	Vacío.
Respuesta	
0xC8	Consumo promedio del último segundo.

Cuadro 13: Comandos específicos al *DC MOTOR* parte A.

<i>MOTOR STRESS ALARM.</i> Alarma sobre un consumo extremo en el motor.	
0x49	Consumo ante el cuál sono la alarma.
Respuesta	
0xC9	Vacío.
<i>MOTOR SHUT DOWN ALARM.</i> Alarma, el motor ha sido apagado.	
0x4A	Consumo ante el que sono la alarma.
Respuesta	
0xCA	Vacío.
<i>GET DC SPEED.</i> Obtiene la velocidad en cuentas del encoder por segundo.	
0x4B	Vacío.
Respuesta	
0xCB	Sentido y velocidad de giro del motor.

Cuadro 14: Comandos específicos al *DC MOTOR* parte B.

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.

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.

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 testeos con los distintos sensores y periféricos que utilizaríamos en el robot. Es por esto 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.

7.1.1. Características principales

Las características principales eran proveer de una interfaz común entre todas las placas para la comunicación y exportar todos los pines y periféricos del microcontrolador que elegimos para placas con las conexiones a los sensores o motores. Todo esto nos servía realizar pruebas de concepto para la conexión con los sensores, valores de componente pasivos ideales, comportamiento e interacción entre placas, para optimizar el código del firmware o crear nuevas expansiones.

<i>SET POSITION</i> . Determina la posición del servo motor indicado.	
0x40	<i>ID</i> del servo y la posición del eje.
Respuesta	
0xC0	Vacío.
<i>SET ALL POSITIONS</i> . Setea las posiciones de cada uno de los servomotores.	
0x01	La posición para cada uno de los 5 servos.
Respuesta	
0xC1	Vacío.
<i>GET POSITION</i> . Obtiene la última posición del servomotor indicado.	
0x42	<i>ID</i> del servo del que se quiere la posición.
Respuesta	
0xC2	<i>ID</i> del servo y la posición del eje.
<i>GET ALL POSITIONS</i> . Obtiene todas las últimas posiciones de los servomotor.	
0x43	Vacío.
Respuesta	
0xC3	La posición para cada uno de los 5 servos.
<i>SET SERVO SPEED</i> . Setea la velocidad para el servomotor indicado.	
0x44	<i>ID</i> del servo y la velocidad a setear.
Respuesta	
0xC4	Vacío.
<i>SET ALL SPEEDS</i> . Setea la velocidad para cada servomotor.	
0x45	Velocidad a setear para cada uno de los servos.
Respuesta	
0xC5	Vacío.
<i>GET SERVO SPEED</i> . Obtiene la velocidad para el servomotor indicado.	
0x46	<i>ID</i> del servo.
Respuesta	
0xC6	<i>ID</i> y velocidad del servo.
<i>GET ALL SPEEDS</i> . Obtiene las velocidades de cada uno de los servomotores.	
0x47	Vacío.
Respuesta	
0xC7	Velocidad de cada uno de los servomotores.
<i>FREE SERVO</i> . Deja de aplicar fuerza sobre el servo indicado.	
0x48	<i>ID</i> del servo a liberar.
Respuesta	
0xC8	Vacío.
<i>FREE ALL SERVOS</i> . Deja de aplicar fuerza sobre cada uno de los servomotores.	
0x49	Vacío.
Respuesta	
0xC9	Vacío.

Cuadro 15: Comandos específicos al *SERVO MOTOR* parte A.

<i>GET STATUS</i> . Obtiene el estado de cada uno de los switches.	
0x4A	Vacío.
Respuesta	
0xCA	1 byte con el estado de cada switch.
<i>ALARM ON STATE</i> . Establece si se desea recibir alarmas por cambio de estado.	
0x4B	ID y tipo de cambio en el switch .
Respuesta	
0xCB	Vacío.
<i>SWITCH ALARM</i> . Alarma ante un cambio de estado programado.	
0x4C	ID y estado del switch que provocó el comando.
Respuesta	
0xCC	Vacío.

Cuadro 16: Comandos específicos al *SERVO MOTOR* parte B.

7.1.2. Módulo de comunicación

Como explicamos en la sección 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.

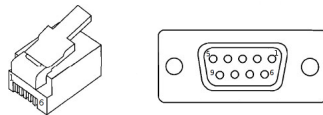


Figura 15: Conectores RJ11 (6P4C) y DB9.

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 *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.

7.1.3. Alimentación de la placa

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

La regulación interna de voltaje realiza por medio de un regulador 7805 corriente máxima de 1A.

<i>ON DISTANCE SENSOR.</i> Enciende el sensor de distancia indicado.	
0x40	<i>ID</i> del sensor a encender.
Respuesta	
0xC0	Vacío.
<i>OFF DISTANCE SENSOR.</i> Apaga el sensor de distancia indicado..	
0x01	<i>ID</i> del sensor a apagar.
Respuesta	
0xC1	Vacío.
<i>SET DISTANCE SENSORS MASK.</i> Habilita o no los sensores para lecturas.	
0x42	1 byte con cada <i>ID</i> del sensor a habilitar o deshabilitar.
Respuesta	
0xC2	Vacío.
<i>GET DISTANCE SENSORS MASK.</i> Obtiene la máscara de lectura.	
0x43	Vacío.
Respuesta	
0xC3	1 byte con cada <i>ID</i> del sensor.
<i>GET VALUE.</i> Obtiene el valor promedio de la entrada de los sensores indicados.	
0x44	1 byte con cada <i>ID</i> del sensor.
Respuesta	
0xC4	1 byte con cada <i>ID</i> y los valores de lectura promedio de cada sensor.
<i>GET ONE VALUE.</i> Obtiene el valor de la entrada del sensor indicado.	
0x45	1 byte con cada <i>ID</i> del sensor.
Respuesta	
0xC5	1 byte con cada <i>ID</i> y los valores de lectura de cada sensor.
<i>ALARM ON STATE.</i> Setea el tipo de cambio de estado del switch para la alarma.	
0x46	Tipo de cambio de estado.
Respuesta	
0xC6	Vacío.
<i>SWITCH ALARM.</i> Alarma informando que fue satisfecha la condición.	
0x47	Tipo de cambio y estado actual del switch.
Respuesta	
0xC7	Vacío.

Cuadro 17: Comandos específicos al *DISTANCE SENSOR*.

<i>ENABLE</i> . Habilita la alimentación del robot mediante la batería.	
0x40	Vacío.
Respuesta	
0xC0	Vacío.
<i>DISABLE</i> . Deshabilita la alimentación del robot mediante la batería.	
0x01	Vacío.
Respuesta	
0xC1	Vacío.
<i>GET BATTERY VALUE</i> . Obtiene el valor de la entrada de la batería.	
0x42	Vacío.
Respuesta	
0xC2	Lectura de la tensión en la batería.
<i>BATTERY FULL ALARM</i> . Mensaje informando que se completado la carga.	
0x43	Vacío.
Respuesta	
0xC3	Vacío.
<i>SET BATTERY EMPTY VALUE</i> . Valor de la batería crítico.	
0x44	Lectura de los voltios de la batería.
Respuesta	
0xC4	Vacío.
<i>BATTERY EMPTY ALARM</i> . El voltaje llegó a un valor crítico.	
0x45	Lectura de los voltios de la batería.
Respuesta	
0xC5	Vacío.
<i>SET FULL BATTERY VALUE</i> . Establece el valor para la carga completa.	
0x46	Lectura de la tensión en la batería.
Respuesta	
0xC6	Vacío.

Cuadro 18: Comandos específicos al *BATTERY CONTROLLER*.

<i>GET TRASH BIN VALUE</i> . Consulta que tan lleno está el cesto de basura.	
0x40	Vacío.
Respuesta	
0xC0	Valor que representa que tan lleno está el cesto interno de basura.
<i>BIN FULL ALARM</i> . El cesto de basura se ha completado y debe ser descargado.	
0x01	Vacío.
Respuesta	
0xC1	Vacío.
<i>SET FULL BIN VALUE</i> . Setea el valor para determinar que el cesto esta lleno.	
0x42	Valor que especifica que lectura se debe tomar como cesto lleno.
Respuesta	
0xC2	Vacío.

Cuadro 19: Comandos específicos al *TRASH BIN*.



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

Cuadro 20: Alimentación de la lógica

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 de código *ICD2* como explicamos en en apartado 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 del header *P2*.

En la figura 17 mostramos el esquemático del microcontrolador y el conexionado con los headers, el módulo de comunicación y conectores para conformar la cadena *Daisy chain* los detallamos en la figura 18. En la figura 19 mostramos el diagrama de la fuente de alimentación y bornera.

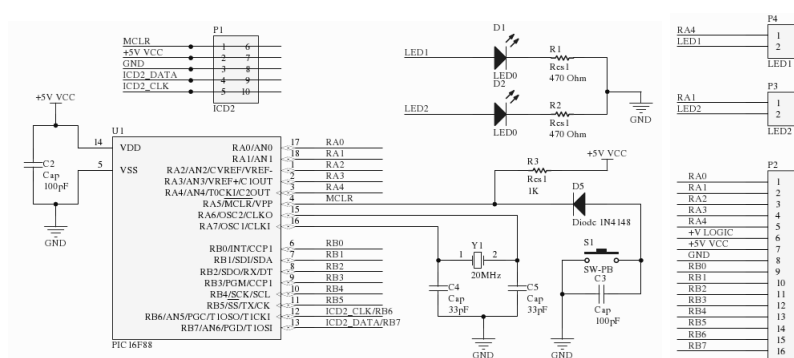
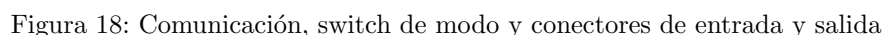


Figura 17: Microcontrolador y headers



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

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.

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.

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. Aunque usar componentes de montaje superficial nos permitirían tener una placa mas compacta.

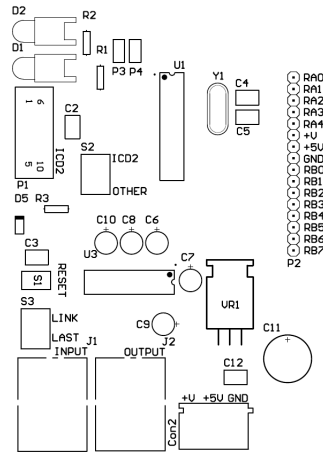


Figura 20: Máscara de componentes de la placa genérica.

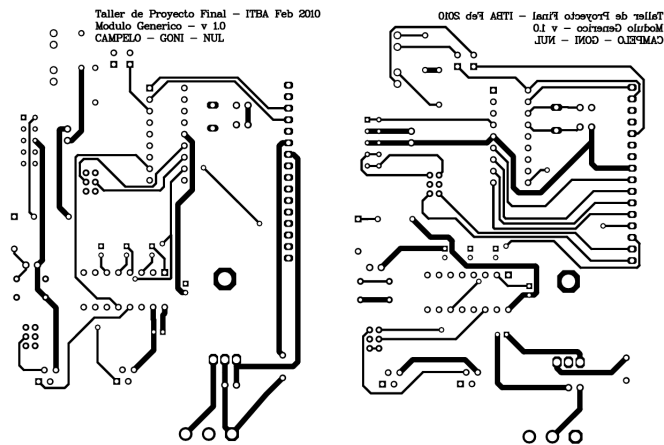


Figura 21: Capas superior e inferior de la placa genérica.

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 impulsan 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.

7.2.1. Características principales

La función principal es entre otros, mantener una velocidad estable en el motor de continua, pero también poder sensor 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 el control de alta resolución 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 6 colocándose como un eslabón más en la cadena. Usamos como base la placa genérica que explicamos en la subsección 7.1 y agregamos el circuito necesario para el control del motor como explicamos en el punto 7.2.6.

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 6.2.2 esta placa responde a comandos específicos listados en los cuadros 13 y 14. La principal información disponible mediante 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 que 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.

7.2.3. Alimentación de la placa

Como explicamos en la subsección 7.1, la alimentación principal de la lógica es de 7 a 20 voltios, con la posibilidad de alimentarla directamente con 5 voltios por uno de los pines del conector. La alimentación del motor es por una bornera de 2 pines como listamos en el cuadro 21, aislada completamente para disminuir así el ruido generado por el funcionamiento del motor sobre de 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*.

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

Cuadro 21: Pines de alimentación del motor.

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 22: Pines del header de comunicación con el motor.

Cabe aclarar también que al estar ambos circuitos completamente aislados, se necesita unificar ambas masas para establecer un punto de referencia común para poder ejercer el control del *punte H* y 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.

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 22 detallamos la posición de los pines.

Las señales *MOTOR_B* y *MOTOR_A* son para la alimentación del motor, dependiendo del sentido de circulación la corriente entre estos pines será el sentido de giro del motor. Esto se controla desde el puente H *L298*.

Los sensores dentro del motor están recibiendo 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 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*.

Los pines *P2* y *P3* los usamos como referencia del conversor analógico digital respectivamente, un puente a *GND* y *VCC*, o al divisor de tensión formado por las resistencias *R5* y *R6*.

7.2.5. Esquemático

En la figura 22 mostramos el esquemático del microcontrolador y el conexionado el header de programación. En la figura 23 detallamos el módulo de

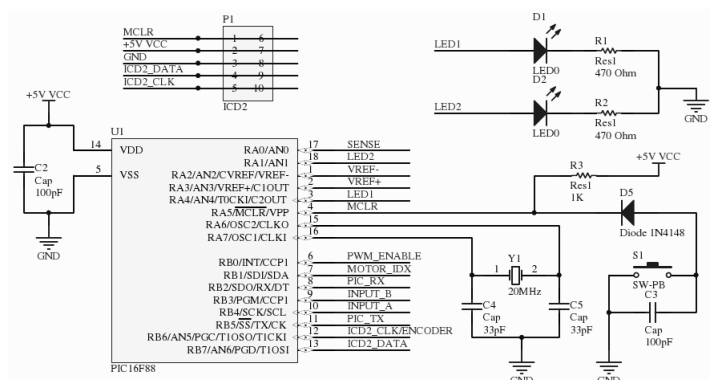


Figura 22: Microcontrolador y header de programación.

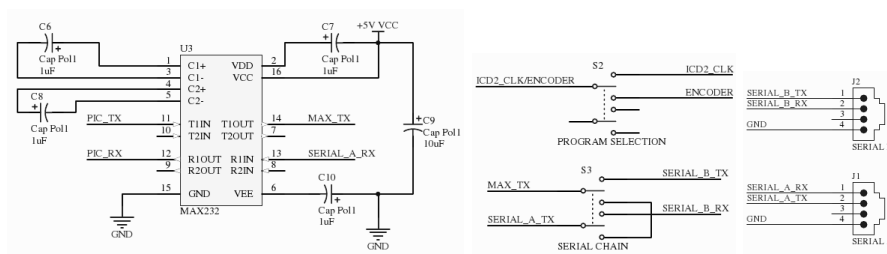


Figura 23: Comunicación, switch de modo y conectores de entrada y salida.

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.

7.2.6. Circuito

En la figura 27 se muestra la máscara de componentes de la placa. En la figura 28 se muestran ambas capas de la placa.

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 cuales son los pines de lectura de la señal del encoder y debemos generar una base de tiempo que nos permita establecer cuantas 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 realizadas nosotros usamos el conocimiento del sentido de giro del motor para sumar o restar el valor calculado

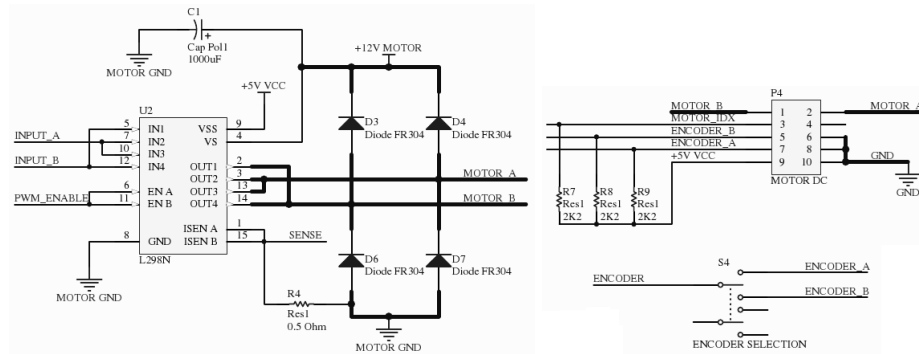


Figura 24: Driver y header de conexión con el motor.

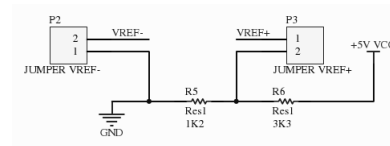


Figura 25: Divisor de tensión para el voltaje de referencia.

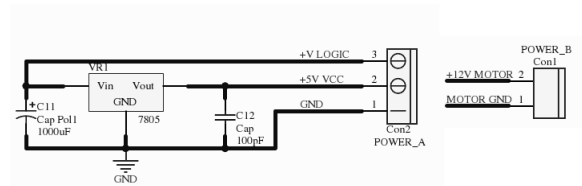


Figura 26: Fuente de alimentación de la lógica y motor.

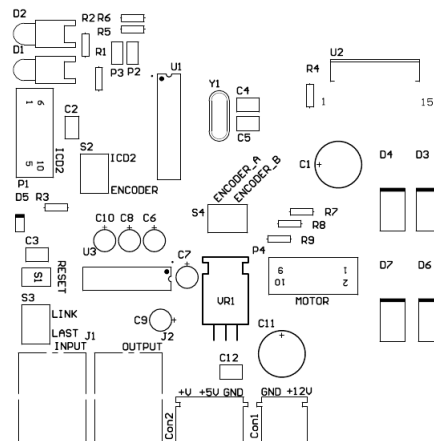


Figura 27: Máscara de componentes de la placa controladora de motores DC.

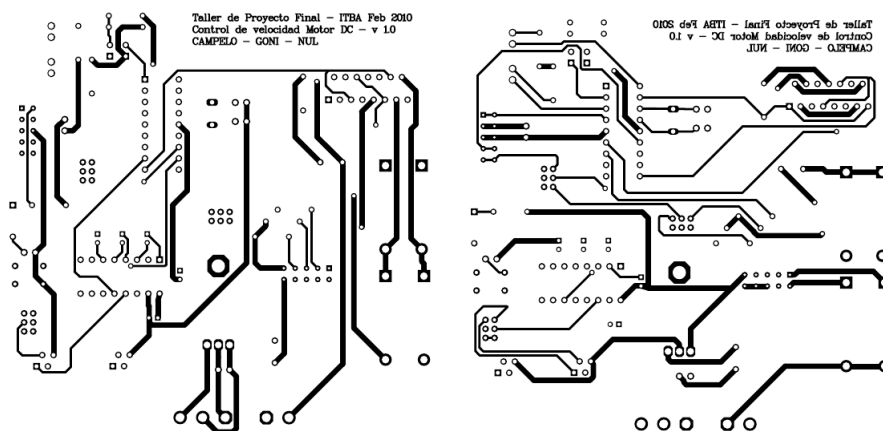


Figura 28: Capas superior e inferior de la placa controladora de motores DC.

por cada intervalo de tiempo en una variable interna del microcontrolador.

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.

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.

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.

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 evitar un muestreo erróneo.

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 1 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 5 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 para poder aumentar así la autonomía del robot. Mediante el uso de un transistor *BC327* por el que puede circular una corriente de hasta $500mA$ para alimentar al sensor que sea necesario.

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.

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 voltios, con la posibilidad de alimentarla directamente con 5 voltios por uno de los pines del conector como explicamos en la subsección 7.1.

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 y 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.

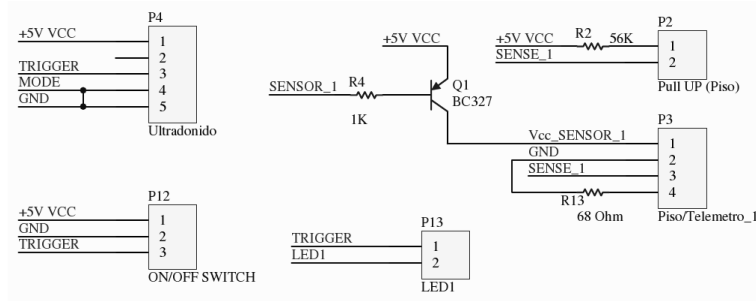


Figura 31: Puertos de conexión para los sensores y header de *pull-up*.

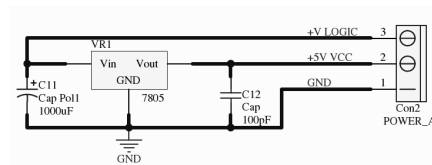


Figura 32: Fuente de alimentación de la lógica.

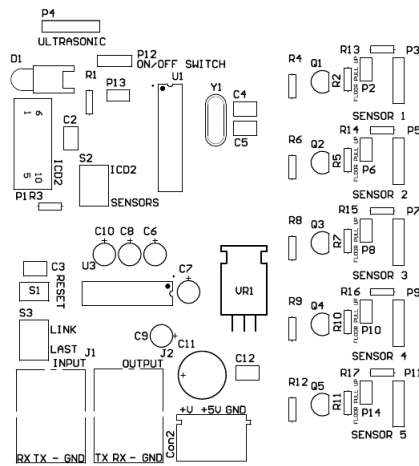


Figura 33: Máscara de componentes de la placa controladora de sensores.

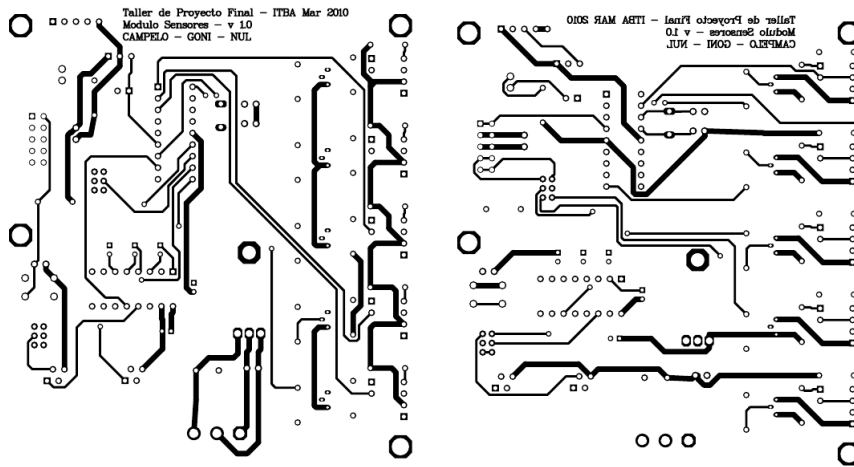


Figura 34: Capas superior e inferior de la placa controladora de sensores.

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.

7.3.8. Posibles extensiones

uso de componentes como resistencias variables para regular la alimentacion de los sensores de piso y resistencias pull-up, pasar a montaje superficial los componentes, hacerla mas chica

7.4. Placa controladora de servo motores

funcion de una placa controladora de servos, porque no fue armada, para que se penso, alguna otra opcion de conexion, pines libres

7.4.1. Características principales

principio de funcionamiento, como logra generar varios pwm por software, como logra ser parte de la cadena

7.4.2. Módulo de comunicación

se explico en el modulo generico, se agregan los comandos especificos y se puede explicar como se obtiene la informacion para dar las respuestas

7.4.3. Alimentación de la placa

se explico en el modulo generico, con modificaciones que permiten que circule una mayor cantidad de corriente para alimentar a los servos.

7.4.4. Configuración

configuracion de la placa, comunicacion, header de programacion

7.4.5. Esquemático

esquematicos de la placa

7.4.6. Circuito

circuito de la placa

7.4.7. Código básico

explicacion de lo minimo que deberia tener para ser parte de la cadena de comunicacion y control de los servos

7.4.8. Posibles extensiones

uso de componentes como resistencias variables para regular la alimentacion de los sensores de piso y resistencias pull-up, pasar a montaje superficial los componentes, hacerla mas chica

8. Armado del prototipo

8.1. Diseño

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

8.3. Desarme

8.4. Costo y proveedores

A. Primer apéndice Hardware

protocolo de comunicacion.
conexionado y configuracion de la comunicacion.
circuitos de las placas.
codigo fuente de las controladoras.
costo del prototipo.

B. Segundo apéndice Hardware