



**FACULTAD
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

**CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN
SISTEMAS EMBEBIDOS**

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

**Robot móvil de inspección y
desinfección**

Autor:

Ing. Sergio Alberino

Director:

Mg. Ing. Claudio Abel Verrastro (CNEA - UTN/FRBA)

Jurados:

Mg. Bioing. Eduardo FILOMENA (UNER)

Esp. Ing. Juan Vicente Montilla Cabrera (FIUBA)

Mg. Ing. Sergio Burgos (UTN-FRP)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre junio de 2020 y junio de 2021.*

Resumen

En este trabajo se describe el desarrollo e implementación de un prototipo de robot móvil para tareas de desinfección por efecto de rayos ultravioletas. El dispositivo puede realizar un recorrido autónomo evitando obstáculos en un ambiente cerrado, o puede controlarse en forma inalámbrica desde una tablet o celular. El dispositivo será utilizado para desinfección en espacios públicos o en el hogar, y como plataforma para actividades de docencia e investigación en el Grupo de Inteligencia Artificial y Robótica de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires.

Para el desarrollo de este trabajo fueron fundamentales los conocimientos adquiridos de arquitectura de software, programación de microcontroladores, protocolos de comunicaciones e interfaz con Bluetooth, así como también las metodologías de especificación de requerimientos de software.

Agradecimientos

Esta sección es para agradecimientos personales y es totalmente **OPCIONAL**.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Robots de servicio	1
1.1.1. Robots móviles para inspección y limpieza	2
1.1.2. Robots de desinfección por luz ultravioleta	3
1.2. Desinfección usando luz ultravioleta	4
1.3. Motivación	6
1.4. Objetivos y alcances	7
2. Introducción específica	9
2.1. Módulos y dispositivos de hardware	9
2.1.1. Placa de microprocesamiento	9
2.1.2. Driver de motores	10
2.1.3. Módulo sensor de infrarrojos	12
2.1.4. Baterías	13
2.1.5. Módulo de comunicaciones Bluetooth	13
2.2. Requerimientos	14
2.3. Planificación	15
3. Diseño e implementación	21
3.1. Diseño de hardware	21
3.1.1. Poncho	21
Diseño esquemático del poncho	21
Diseño PCB del poncho	22
3.1.2. Esquema de de comunicaciones	23
3.2. Diseño mecánico	23
3.2.1. Gabinete del robot	23
3.2.2. Motores	23
3.3. Diseño de software	23
3.3.1. Tarea de control de motores	23
3.3.2. Tarea de comunicaciones	23
4. Ensayos y resultados	25
4.1. Pruebas funcionales del hardware	25
4.1.1. Validación de movimientos del robot	25
4.1.2. Validación módulo de comunicaciones Bluetooth	25
4.1.3. Validación detección de obstáculos	25
4.1.4. Validación de navegación autónoma	25
4.2. Pruebas no Funcionales	25
5. Conclusiones	27
5.1. Conclusiones generales	27

5.2. Próximos pasos	27
Bibliografía	29

Índice de figuras

1.1. Robots de servicio ¹	1
1.2. Clasificación de robots de servicio ²	2
1.3. Distintos tipos de robot de limpieza ³	2
1.4. Robot desinfectante por luz ultravioleta en una sala de hospital ⁴	3
1.5. UVR-Robot de la agencia nacional UV- Robotics ⁵	4
1.6. clasificación según longitud de onda. ⁶	5
1.7. Efecto de la UV-C sobre el ADN de microorganismos ⁷	5
1.8. Ejemplo de gabinete de desinfección ultravioleta.	6
2.1. Placa de desarrollo EDUCIAA-NXP ⁸	9
2.2. Diagrama en bloques de la EDUCIAA-NXP. ⁹	10
2.3. Driver de motores. ¹⁰	11
2.4. diagrama esquemático del módulo. ¹¹	11
2.5. Módulo sensor de infrarrojos ¹²	12
2.6. Esquema del módulo sensor de Infrarrojos . ¹³	12
2.7. Las dos baterías 18650 en su portapila	13
2.8. Módulo Bluetooth HC-05 . ¹⁴	14
2.9. Tabla de tareas de Gantt	16
2.10. Diagrama de Gantt	17
2.11. Diagrama en <i>Activity on Node</i>	19
3.1. Diagrama en bloques del robot.	21
3.2. Vista del modelo 3D del poncho rUVot.	22

Índice de tablas

Dedicado a... [OPCIONAL]

Capítulo 1

Introducción general

En este capítulo se presentan las características de los robots de servicio, se reseña el uso de luz ultravioleta como germicida y se exponen los objetivos que motivaron el presente trabajo y sus respectivo alcance.

1.1. Robots de servicio

A lo largo del siglo XX la robótica pasó de ser una temática de la rama de la ciencia ficción, a cumplir un importante rol dentro de los complejos industriales. En los últimos años los robots han pasado a tener cada vez más tareas de “servicio” para ambientes públicos y hogareños. La robótica de servicios abarca un amplio campo de aplicaciones, la mayoría de las cuales tienen diferentes grados de automatización, desde la teleoperación completa hasta el funcionamiento autónomo, y constituye un campo de aplicación más diverso que el de la robótica industrial. En la figura 1.1 se pueden observar tres tipos de robots de servicios: una aspiradora hogareña, un cortador de césped y un limpiavidrios.



FIGURA 1.1. Robots de servicio¹.

A mediados de la década de 1990, la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE) [1] y la Federación Internacional de Robótica (IFR) [2] adoptaron un sistema de clasificación de robots de servicio dividida por categorías y tipos de interacción, que se ha mantenido hasta la actualidad. En la figura 1.1 se puede observar los primeros ítems de clasificación para robots domésticos/personales de acuerdo a los tipos y áreas de aplicación.

¹Imágenes tomadas de <https://www.domotizar.com/>

I	Robots domésticos/personales	II	Robots de servicio profesional
1-7	Robots para tareas domésticas	16-21	Robótica de campo
1	Robots compañeros, asistentes, humanoides	16	Agricultura (campos, invernaderos, huertas, viñedos)
2	Limpieza de suelos, aspiradoras	17	Robots de ordeño
3	Corte de césped	18	Otros robots de ganadería
4	Limpieza de la piscina	19	Robots de minería
5	Limpieza de ventanas	20	Robots espaciales
6	Seguridad y vigilancia doméstica	21	Otros
7	Otros	22-26	Limpieza profesional
8-11	Robots de entretenimiento	22	Limpieza de suelos
8	Robots juguete/hobby	23	Limpieza de ventanas y paredes (incluyendo robots de limpieza que trepan paredes)
9	Robots multimedia	24	Limpieza de tanques y cañerías
10	Educación e investigación	25	Limpieza de casco (aeronaves, vehículos, etc.)
11	Otros	26	Otras tareas de limpieza
12-14	Asistencia a ancianos y discapacitados	27-29	Sistemas de inspección y mantenimiento
12	Sillas de ruedas robotizadas	27	Plantas, instalaciones
13	Dispositivos de ayuda y asistencia personales	28	Tanques, cañerías, cloacas
14	Otras funciones de asistencia	29	Otros sistemas de inspección y mantenimiento
15	Otros robots domésticos/personales		

FIGURA 1.2. Clasificación de robots de servicio².

1.1.1. Robots móviles para inspección y limpieza

Los robots móviles son dispositivos que poseen un sistema de locomoción capaz de navegar a través de un determinado ambiente de trabajo. Normalmente cuentan con cierto nivel de autonomía que les permite el desplazamiento sin colisiones por un recorrido específico. Sus aplicaciones son muchas y en general están relacionadas con tareas monótonas o riesgosas para la salud humana.

Las plataformas móviles pueden realizar tareas de inspección y limpieza de manera autónoma o controlada remotamente por un operador. Son utilizadas en zonas de difícil acceso debido a limitaciones de espacio o razones de seguridad. Este tipo de robot suele contar con sensores de distinto tipo, para detectar los límites y obstáculos ante los que se presentan.

La proliferación de robots para limpieza se incrementó fuertemente a partir de la pandemia de Covid-19, con lo que se los puede encontrar hoy en día en espacios en los que antes no estaban presentes, tales como salas médicas, hoteles y en el transporte público [3].

Estos dispositivos “de interior” abarcan varios tipos. En la figura 1.3 se puede observar un modelo de robot trapeador húmedo, una aspiradora robótica y un limpiavidrios automático, a modo de ejemplo.

FIGURA 1.3. Distintos tipos de robot de limpieza³.

²Imagen tomada de https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/aa1_ifr_robots.pdf

³Imágenes tomadas de <https://www.domotizar.com/>

1.1.2. Robots de desinfección por luz ultravioleta

Desde hace tiempo se utiliza luz ultravioleta para la desinfección de agua potable, y más recientemente ha sido incorporada como método germicida en conductos de ventilación. También se ha utilizado para la desinfección de instrumental e insumos en ambientes hospitalarios. En el siguiente apartado se dará referencia acerca de la eficiencia de la luz ultravioleta, dentro de cierto rango de longitud de onda, para el control de bacterias y virus.

En los últimos dos años, con el aumento de precauciones debido a la pandemia mundial por el COVID-19, comenzaron a comercializarse robots móviles de luz ultravioleta germicida, para desinfectar quirófanos y salas de hospitales. Estos robots, poseen paneles con tubos ultravioleta para poder irradiar completamente una habitación o parte de la misma y son de alturas entre los 120 y los 180 cm para poder iluminar camas y mesas desde arriba y poder pasar por puertas y aberturas convencionales. La cobertura de estos robots suele ser mayor a los 180 grados, por lo que resulta importante no solo el recorrido realizado para abarcar todas las superficies, sino también evitar la presencia cercana de personas ya que la exposición de rayos ultravioleta puede ser perjudicial para la piel y la vista. En la figura 1.4 se muestra un robot de estas características.



FIGURA 1.4. Robot desinfectante por luz ultravioleta en una sala de hospital⁴.

Además de los hospitales, estos robots están siendo usados en otros espacios, como vagones del subterráneo, espacios comunes en hoteles, oficinas y áreas de control en aeropuertos [4].

Otra aplicación que empieza a dársele a los robots UV-C es la desinfección fungicida en viñedos (en particular el oidio, que es un hongo que ataca todos los tejidos verdes del cultivo). Dispositivos robot recorren las plantaciones por la noche con paneles ultravioleta cuya luz daña el ADN del hongo, sin afectar a las plantas [5].

⁴Imagen tomada de <https://www.infopl.net/plus-plus/empresas/item/107726-mts-tech-robot-movil-ultravioleta-covid-19>

En 2020, la empresa argentina UV- Robotics lanzó el UVR-Robot [6] que cuenta con tubos de luz UV-C germicida dispuestos en un arreglo de 360 grados para que la luz llegue hasta cualquier rincón y con una plataforma omnidireccional. El proceso toma entre 5 y 15 minutos según la superficie, y se lo puede dirigir a control remoto. Esto le permite desinfectar autobuses, aviones y otros medios de transporte, salas de espera, centros de mayores, colegios, entidades bancarias, hoteles, ascensores o aseos. La iniciativa tuvo el apoyo del Ministerio de Desarrollo Nacional y cuenta con validaciones y homologaciones de la Universidad Tecnológica Nacional. En la figura 1.5 se observa al UVR-Robot desinfectando un vagón de tren subterráneo.



FIGURA 1.5. UVR-Robot de la agencia nacional UV- Robotics⁵.

A nivel hogareño, muchos robots de limpieza empiezan a incorporar la luz ultravioleta como medio de desinfección. En general, es una característica adicional que presentan las aspiradoras robóticas que además de barrido y trapeado húmedo agregan la esterilización de suelos con luz ultravioleta, resultando hoy en día una característica evaluada en las comparativas de los distintos productos [prueba].

1.2. Desinfección usando luz ultravioleta

El espectro ultravioleta (UV) abarca la banda de radiación electromagnética entre los 400 y 100 nm, presentando una longitud de onda menor que la de la luz visible y mayor que la de los rayos X. Se divide en las siguientes categorías principales:

- los rayos UV-A (400 – 315 nm), que son los más cercanos al espectro visible.
- los rayos UV-B (315 – 280 nm), que son absorbidos en gran parte por diferentes elementos a medida que atraviesan el cielo.
- los rayos UV-C (280 – 200 nm), que son absorbidos totalmente por la capa de ozono.

⁵Imagen tomada de <https://www.interempresas.net/Tecnologia-aulas/Articulos/321010-UVR-bot-reto-acabar-cualquier-rastro-covid-19-20-minutos-luz-ultravioleta.html>

En la figura 1.6 se observa detalle de parte del espectro de radiación electromagnética y su clasificación según longitud de onda.

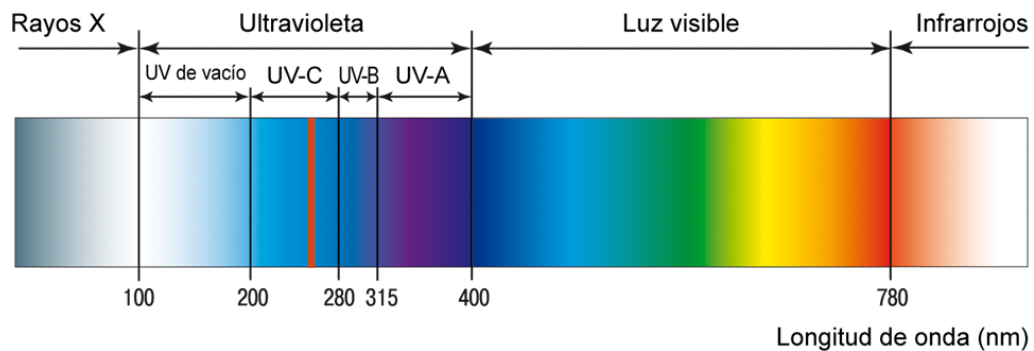


FIGURA 1.6. clasificación según longitud de onda.⁶

La utilización de luz ultravioleta UV-C como germicida ha demostrado efectividad para la esterilización las bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas.

Los virus tienen un tamaño inferior a un micrómetro (μm , una millonésima parte de un metro) y las bacterias son típicamente de 0,5 a 5 μm . Técnicamente es incorrecto decir que los rayos UV-C matan a los virus, siendo que no se trata de organismos vivos. Sin embargo, el comité de foto-biología de la *Illuminating Engineering Society* (IES) informa que los fotones UV-C interactúan con el ARN y las moléculas de ADN en un virus o bacteria de modo que se evita su reproducción y por lo tanto su efecto infeccioso. Una célula que no puede reproducirse se considera muerta; ya que no puede multiplicarse dentro del anfitrión. A este proceso se lo denomina “desactivación” [8]. En la figura 1.7 se representa el efecto de la luz UV-C en el ADN de bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas.

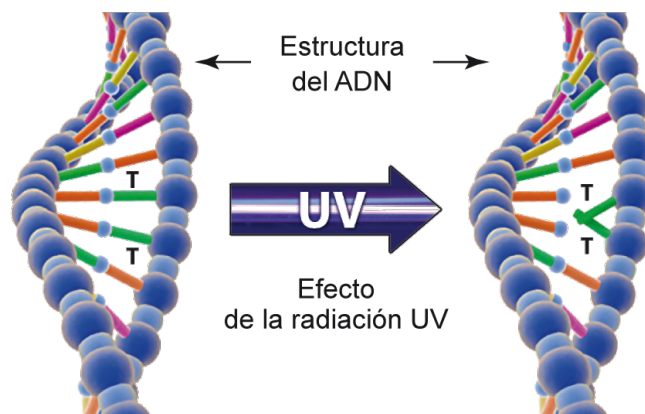


FIGURA 1.7. Efecto de la UV-C sobre el ADN de microorganismos⁷.

La *International Ultraviolet Association* (IUVA) afirma que los resultados de pruebas en laboratorio de desinfección utilizando UV-C entre los 200 y 280 nm demuestran especial utilidad para reducir la transmisión de los virus causantes del

⁶Imagen tomada de <https://www.lit-uv.com/es/technology/>

⁷Imagen tomada de <https://www.lit-uv.com/es/technology//>

COVID-19: SARS-CoV-1 y MERS-CoV [9]. En la práctica, el efecto depende de factores tales como el tiempo de exposición y obstrucción que puedan tener los rayos para alcanzar plenamente los pliegues u ondulaciones que pudiera tener la superficie a desinfectar.

En un informe sobre utilización de la radiación ultravioleta para desinfección [7], el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, concluye que el uso de radiación UV-C es muy adecuado para la desinfección de microorganismos y de virus, y propone su uso en combinación con métodos tradicionales para la desinfección en zonas de alta contaminación.

Una de las ventajas de este método de desinfección radica en que una vez terminada el ambiente puede volver a ser utilizado inmediatamente, ya que no existe radiación persistente. La desinfección por UV-C resulta además menos contaminante para el medio ambiente, al no exponer al ser humano a los riesgos derivados del uso de productos químicos. La desinfección germicida por ultravioleta es especialmente recomendada cuando debe realizarse sobre materiales que podrían verse afectados o dañados ante la limpieza continua con productos a base de químicos líquidos, como ser dispositivos electrónicos o materiales susceptibles a la oxidación [10]. En la figura 1.8 se muestra un gabinete utilizado para la desinfección ultravioleta de toallas, pinzas, cortauñas, limpieza de cepillos de dientes, teléfono móvil, etc.



FIGURA 1.8. Ejemplo de gabinete de desinfección ultravioleta.

La desinfección por rayos UV-C es también útil en el caso de superficies de difícil acceso por su ubicación o cuando la zona presenta formas y estructuras que no permiten la higienización por contacto con paños o rociadores.

Por otra parte, si bien la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda el uso de rayos UV-C para desinfección, también alerta sobre los riesgos de exposición en seres humanos y animales, cuya piel puede verse irritada, a la vez que puede producir daños a la vista [11]. En este sentido promueven la limpieza de manos periódica con jabón o con alcohol, y dejan la esterilización con UV-C para instrumental y objetos de uso diario.

1.3. Motivación

Existen cada vez más robots de servicio orientados a tareas específicas de ayuda para la industria y el hogar. En los últimos años empezaron a proliferar los robots aspiradoras a nivel hogareño, que realizan su tarea en forma autónoma en ambientes cerrados. Basado en el funcionamiento de estos robots, y en un contexto mundial en el que es importante reforzar los niveles de higiene, es que surge la idea de construir una plataforma móvil de dimensiones similares, que pudiera utilizarse para desinfección por rayos UV-C.

Si bien los robots de desinfección surgidos durante la pandemia COVID-19 son de dimensiones mucho mayores, los conceptos y criterios utilizados en el actual prototipo pueden ser aplicados a dispositivos de estas características. De hecho, se ha visto que muchos robots de limpieza hogareña empiezan a incorporar la desinfección por UV-C como parte de sus prestaciones. En un informe sobre utilización de la radiación ultravioleta para desinfección [xx] elaborado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, se propone como algo necesario el diseño de robots móviles que recorran superficies horizontales de forma autónoma irradiando luz UV-C para la desinfección de ambientes.

El prototipo desarrollado cumple con la misión propuesta, y permite también ser utilizado como modelo de prueba para otros algoritmos de navegación robótica, siendo que resulta un problema de interés para la robótica móvil la navegación en un espacio dado a la vez que se evitan obstáculos en forma reactiva.

Si bien existen plataformas robot con fines educativos y de experimentación, la mayoría son de fabricación extranjera y de costos elevados para ser afrontados por instituciones educativas. La construcción de prototipos robóticos a nivel nacional constituye en ese sentido un buen aporte para ampliar el parque de plataformas de experimentación y desarrollo de nuevas aplicaciones.

1.4. Objetivos y alcances

El propósito de este proyecto es el desarrollo de un prototipo de robot móvil para tareas de desinfección por efecto de rayos ultravioletas.

El propósito de este proyecto es el desarrollo de un prototipo de robot móvil para tareas de desinfección por efecto de rayos ultravioletas germicidas. El dispositivo posee un modo autónomo en el que realiza un recorrido evitando obstáculos, y un modo de teleoperación en el que puede controlarse a distancia desde una aplicación en un celular o Tablet.

La idea es que pueda ser usado para desinfección sin residuos químicos en espacios públicos y en el hogar

Capítulo 2

Introducción específica

En este capítulo se presentan las distintas tecnologías y metodologías disponibles para la implementación del prototipo de robot móvil. Se describen los dispositivos y arquitecturas más significativos que permitieron alcanzar los requerimientos planteados.

2.1. Módulos y dispositivos de hardware

En esta sección se describen los Módulos y dispositivos de hardware que componen el prototipo robot desarrollado

2.1.1. Placa de microprocesamiento

Se utilizó la placa de desarrollo EDUCIAA-NXP [12] ya que la misma se usa para la ejercitación en varias asignaturas de la carrera de postgrado. En la figura 2.1 se observa una imagen de la EDU-CIAA-NXP, una versión de bajo costo de la CIAA-NXP, pensada para la enseñanza universitaria, terciaria y secundaria.

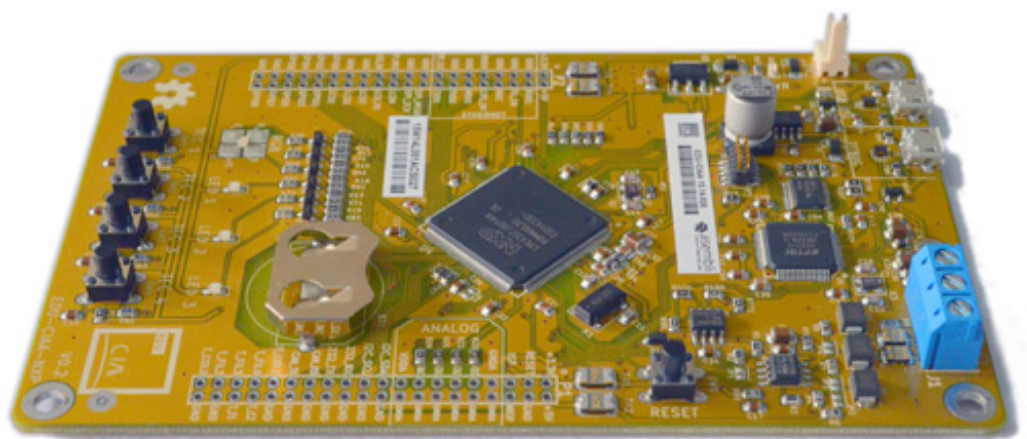


FIGURA 2.1. Placa de desarrollo EDUCIAA-NXP¹.

¹Imagen tomada de <http://www.proyecto-ciaa.com.ar>

En la figura 2.2 puede verse un diagrama en bloques general de la placa.

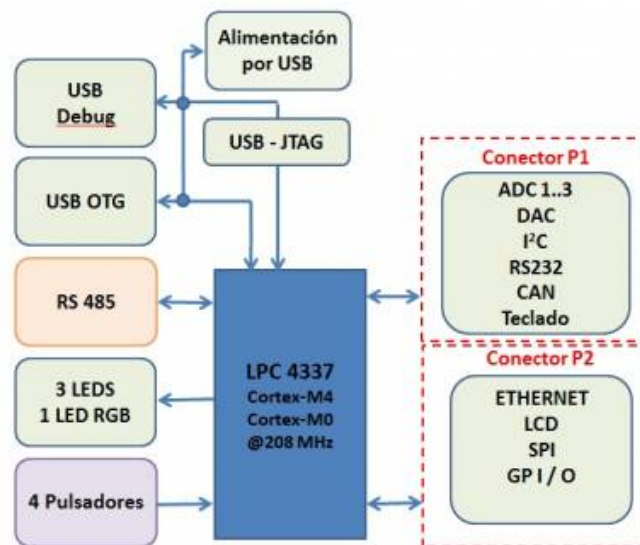


FIGURA 2.2. Diagrama en bloques de la EDUCIAA-NXP².

El microcontrolador utilizado por la EDU-CIAA es el LPC4337 (dual core ARM Cortex-M4F y Cortex-M0). Los recursos más significativos que se utilizaron de la placa fueron:

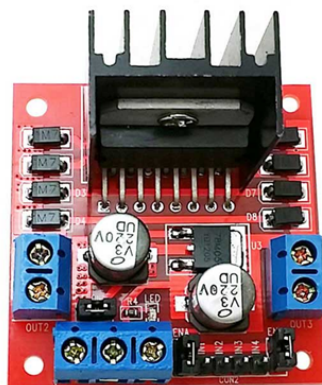
- GPIO (General Purpose Input/Output, Entrada/Salida de Propósito General)
- PWM (Pulse Width Modulation, modulación por ancho de pulso).
- UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, Transmisor-Receptor Asíncrono Universal).
- Temporizadores.

2.1.2. Driver de motores

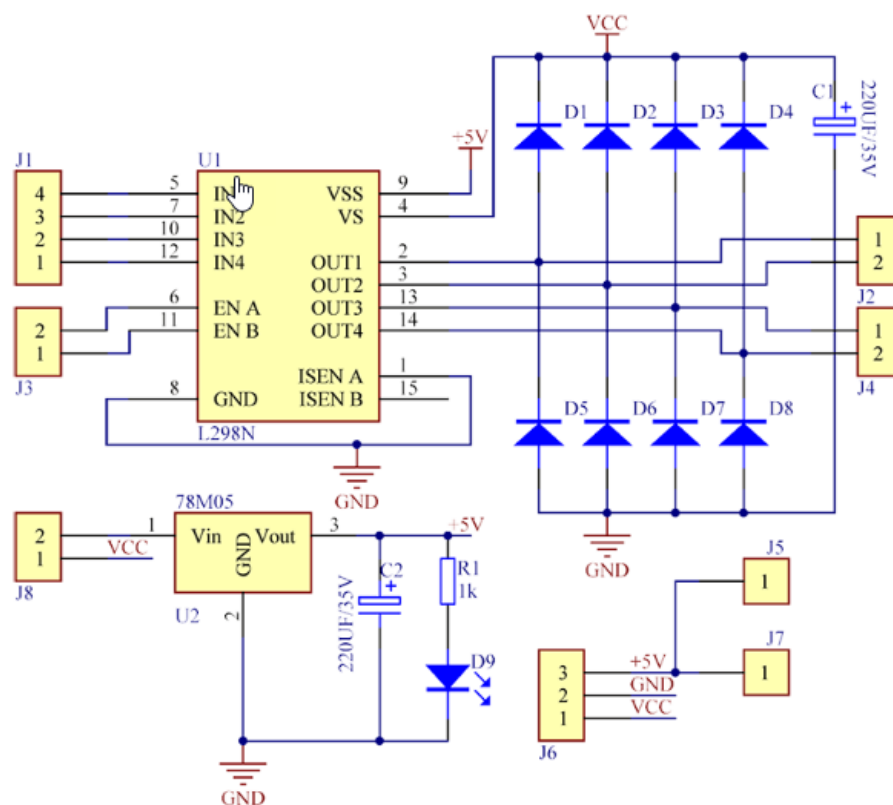
Se utilizó un módulo para el accionamiento de motores [13]. En la figura 2.3 se puede observar una imagen de la placa. El módulo está basado en el circuito integrado L298N [14] y permite controlar dos motores de corriente continua de manera simultánea e independiente. Sus características principales son:

- Tensión mínima: 5 V.
- Tensión máxima: 35 V.
- Corriente máxima: 2 A.
- Tensión de nivel lógico: 5 V.
- Potencia máxima 25 W.
- Medidas: 43 x 43 x 24 mm.

²Imagen tomada de <http://www.proyecto-ciaa.com.ar>

FIGURA 2.3. Driver de motores.³

La placa tiene la opción de habilitar o no el regulador LM7805 integrado para alimentar la parte lógica. En la figura 2.4 se observa el diagrama esquemático del módulo.

FIGURA 2.4. diagrama esquemático del módulo.⁴

³Imagen tomada de <http://robots-argentina.com.ar>

⁴Imagen tomada de <http://robots-argentina.com.ar>

2.1.3. Módulo sensor de infrarrojos

Se utilizaron dos módulos sensores de proximidad por infrarrojos IR FC-51 [15] para la detección de obstáculos por parte del robot. Estos módulos están compuestos por un emisor de luz infrarroja (IR) y un receptor que detecta su reflejo en las superficies contra las que se enfrenta, de modo que presentan una señal en presencia de cualquier obstáculo en su parte frontal. Un potenciómetro permite ajustar el rango de detección.

El sensor presenta una respuesta estable incluso con luz ambiente o en completa oscuridad. En la figura 2.5 se observa una imagen del sensor de infrarrojos.

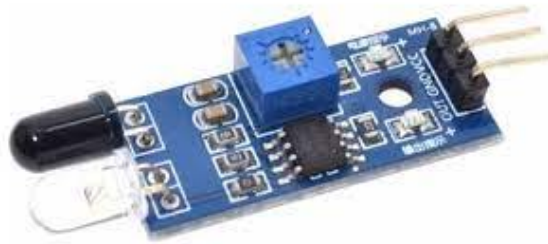


FIGURA 2.5. Módulo sensor de infrarrojos ⁵.

En la figura 2.6 se muestra el circuito esquemático del sensor de Infrarrojos

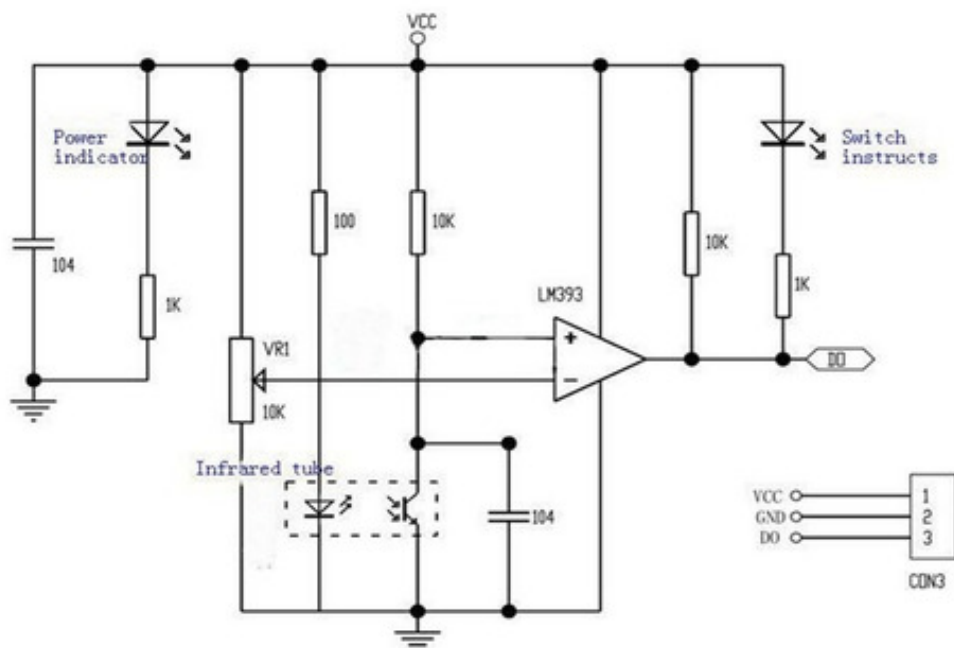


FIGURA 2.6. Esquema del módulo sensor de Infrarrojos ⁶.

⁵Imagen tomada de <http://robots-argentina.com.ar>

⁶Imagen tomada de <http://robots-argentina.com.ar>

Las características del módulo son:

- Ángulo de cobertura: 35°.
- Tensión de funcionamiento: 3 V – 6 V.
- Rango de detección: 2 cm – 30 cm (ajustable con el potenciómetro).
- Tamaño: 4,5 cm x 1,4 cm x 0,7 cm.
- Discriminación: la salida toma nivel lógico bajo cuando se detecta un obstáculo (reflexión).

2.1.4. Baterías

En función del consumo y la intención de no dedicar mayor espacio a las celdas de alimentación, se emplearon dos baterías de Ion-litio tipo 18650. Una de las ventajas de las Ion-litio es que permiten ser recargadas con una media de entre 600 a 1000 veces sin que se estropeen ni pierdan efectividad [16]. La capacidad de estas baterías varían de un modelo a otro pero suelen estar comprendidas entre los 2100 mAh y los 4000mAh. Su tensión nominal es de 3,7 V (hasta 4,2 V en vacío).

Las baterías van conectadas en serie para lograr una tensión de 7,4 V acorde a la alimentación de los motores y con un margen superior necesario para el correcto funcionamiento del regulador de tensión de 5 V del módulo de accionamiento de motores. Las baterías se insertaron en un portapilas comercial. En la figura 2.7 se muestra las dos baterías 18650 ya instaladas en su portapila.



FIGURA 2.7. Las dos baterías 18650 en su portapila .

2.1.5. Módulo de comunicaciones Bluetooth

Se utilizó el módulo Bluetooth HC-05 para la comunicación con el robot [17]. El mismo ya había sido utilizado en prácticas de la asignatura “Protocolos de comunicaciones en sistemas embebidos”, conectado al puerto serie de la EDU-CIAA. El módulo permite realizar un enlace digital con un alcance de 10 m aproximadamente y no requiere antena externa ya que se encuentra integrada en el PCB. La velocidad máxima de transmisión asincrónica de 2 Mbps y soporta modo master y modo slave. Todos los parámetros del módulo se pueden configurar mediante comandos AT.

En la figura 2.8 se observa el módulo HC-05.

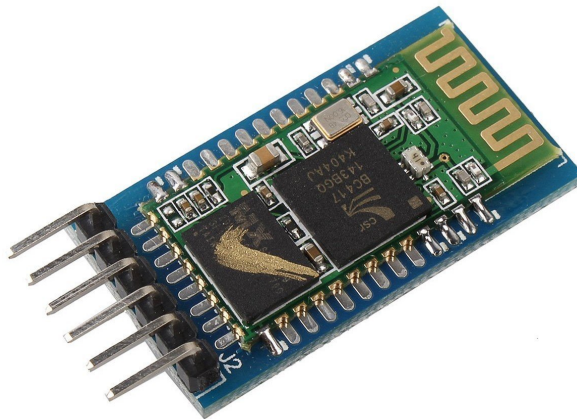


FIGURA 2.8. Módulo Bluetooth HC-05 ⁷.

Las características del módulo son:

- Voltaje de operación: 3.6 V - 6 V DC.
- Consumo corriente: 50 mA.
- Bluetooth: V2.0+EDR.
- Frecuencia: Banda ISM 2.4 GHz.
- Modulación: GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying)
- Potencia de transmisión: 4 dBm, Class 2.
- Sensibilidad: -84dBm a 0.1
- Alcance 10 m.
- Tamaño: 3,7 cm x 1,6 cm.

2.2. Requerimientos

En esta sección se enumeran los requerimientos planteados en la planificación inicial del proyecto. Los requerimientos se han dividido en funcionales y no funcionales.

1. Requerimientos funcionales

- a) Capacidad de locomoción. El robot debe ser capaz de desplazarse por medio de ruedas motorizadas, a través de superficies planas.
- b) Capacidad de percepción. El robot debe ser capaz de detectar y obtener información del medio.
- c) Capacidad de comunicación inalámbrica.
- d) El robot deberá funcionar con alimentación a batería recargable.

⁷Imagen tomada de <https://maker.pro/custom/tutorial/hc-05-bluetooth-transceiver-module-datasheet-highlights>

- e) El proyecto debe ser extensible a una posible herramienta de enseñanza e investigación
2. Requerimientos no funcionales
- a) El robot no debe resultar peligroso para el ambiente o las personas con las que podría interactuar.
 - b) El diseño del robot debe respetar regulaciones en cuanto a radiación en el espectro ultravioleta.
 - c) Se utilizarán componentes electrónicos disponibles comercialmente en Argentina.

2.3. Planificación

El trabajo se organizó para ser terminado en el mes de junio de 2021 con una dedicación aproximada de 600 horas en total. Con el fin de organizar y dar seguimiento a las actividades requeridas y poder identificar los desvíos en los tiempos de ejecución programados, se cuantificaron los tiempos de las diversas tareas mediante el diagrama de Gantt, que se observa en las figuras 2.9 y 2.10.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	1.1. Relevamiento de necesidades	10 horas	lun 20/07/20	mar 04/08/20	
2	1.2. Analisis de requerimientos	20 horas	mar 04/08/20	mar 18/08/20	1
3	1.3. Confección de la planicación del proyecto	20 horas	mié 19/08/20	mar 01/09/20	2
4	2.1. Selección de materiales y componentes	10 horas	mié 02/09/20	mar 08/09/20	3
5	2.2. Diseño de esquemáticos	35 horas	mié 09/09/20	vie 02/10/20	4
6	2.3. Construcción de hardware de control	35 horas	vie 02/10/20	mar 27/10/20	5
7	2.4. Construcción de hardware de sensores	30 horas	vie 02/10/20	vie 23/10/20	5
8	2.5. Integración de hardware	20 horas	mié 28/10/20	mar 10/11/20	6;7
9	2.6. Pruebas funcionales	25 horas	mié 11/11/20	vie 27/11/20	8
10	3.1. Programación software de control de motores	16 horas	mié 28/10/20	vie 06/11/20	6
11	3.2. Implementación de drivers para adquisición de datos de los sensores	20 horas	lun 02/11/20	lun 16/11/20	7
12	3.3. Pruebas de funcionamiento	15 horas	lun 16/11/20	mié 25/11/20	10;11
13	3.4. Programación de firmware de control reactivo	30 horas	jue 03/12/20	jue 24/12/20	9;12
14	3.5. Programación software de control comunicación	35 horas	jue 26/11/20	mar 22/12/20	12
15	3.6. Modificaciones para integración al software	10 horas	lun 28/12/20	mié 03/02/21	14;13
16	4.1. Diseño mecánico de la plataforma	20 horas	mié 23/09/20	mié 07/10/20	3
17	4.2. Armado del prototipo	40 horas	lun 19/10/20	lun 16/11/20	16
18	4.3. Pruebas funcionales de integración mecánica-electrónica	25 horas	vie 27/11/20	mar 15/12/20	17;9
19	4.4. ajuste de parámetros de funcionamiento	20 horas	mié 16/12/20	mar 02/02/21	18
20	5.1. Diseño de interfaz de control	20 horas	jue 04/02/21	mié 17/02/21	15;19
21	5.2. Programación de la interfaz de control	40 horas	jue 18/02/21	mié 17/03/21	20
22	5.3. Pruebas y ajuste de la interfaz de control	25 horas	jue 18/03/21	lun 05/04/21	21
23	6.1. Informe de avances	10 horas	lun 05/04/21	lun 12/04/21	22
24	6.2. Documentación del trabajo realizado	15 horas	lun 12/04/21	mié 21/04/21	23
25	6.3. Creación de manuales de uso	15 horas	jue 22/04/21	lun 03/05/21	24
26	6.4. Realización de Informe del proyecto	35 horas	lun 03/05/21	mié 26/05/21	25
27	6.5. Presentación final	20 horas	jue 27/05/21	mié 09/06/21	26

FIGURA 2.9. Tabla de tareas de Gantt

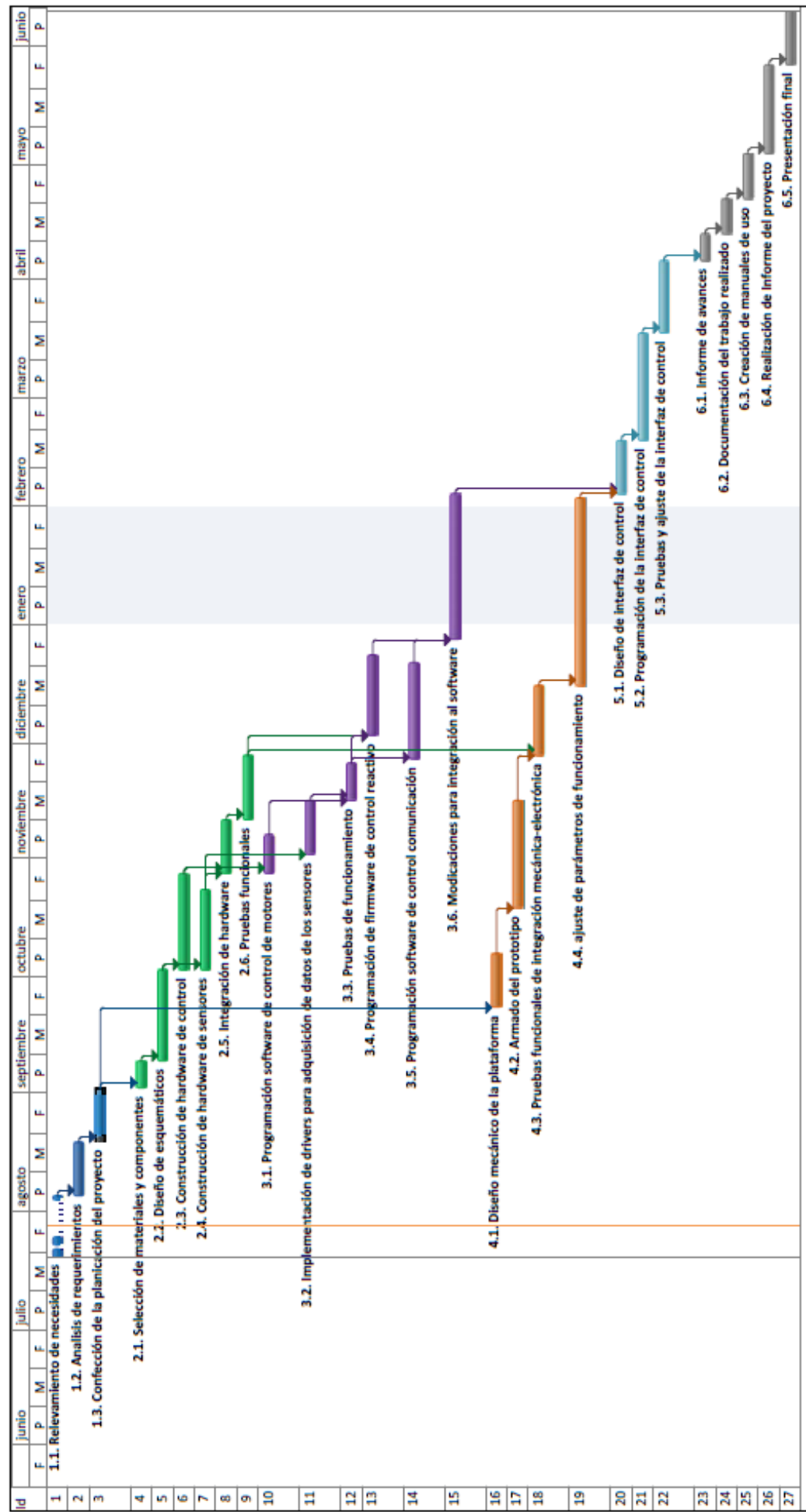
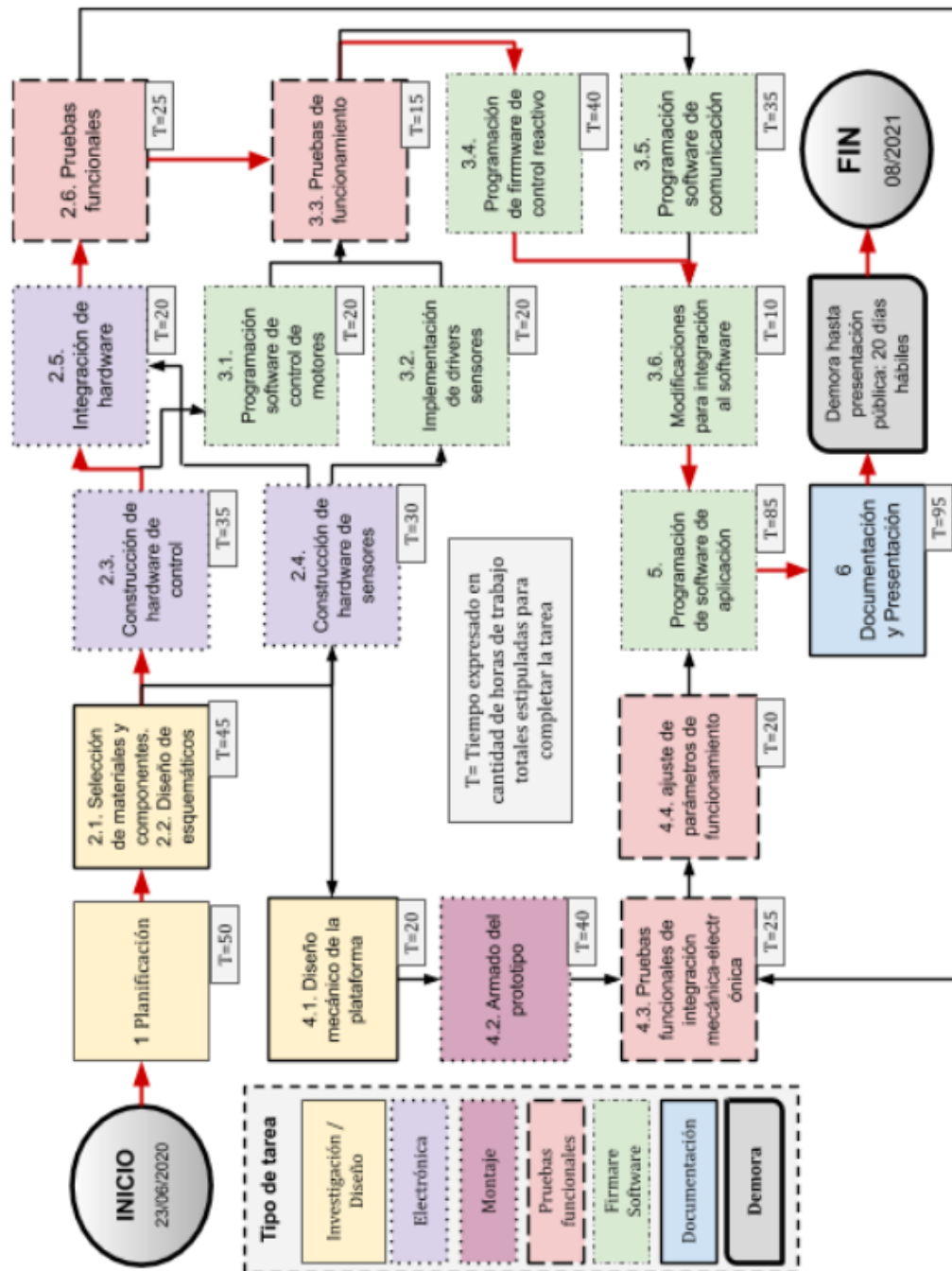


FIGURA 2.10. Diagrama de Gantt

Se confeccionó también un diagrama de Activity on Node, con la finalidad de resaltar las tareas cuyos retrasos podrían resultar críticos para la concreción del trabajo. En rojo se indica el camino crítico, como puede apreciarse en la figura 2.11

A partir de este análisis está organizado el trabajo que se presenta en los próximos capítulos.

FIGURA 2.11. Diagrama en *Activity on Node*

Capítulo 3

Diseño e implementación

En este capítulo se enumeran y desarrollan los aspectos considerados a la hora diseñar el robot. Se tuvieron en cuenta los alcances establecidos como así también las posibilidades económicas de solventar el proyecto.

3.1. Diseño de hardware

En esta sección se detallan los componentes y módulos electrónicos que forman parte del robot. Se detalla la función que desempeña cada uno de ellos. En la figura 3.1 se puede apreciar un diagrama en bloques de los módulos que conforman el robot.

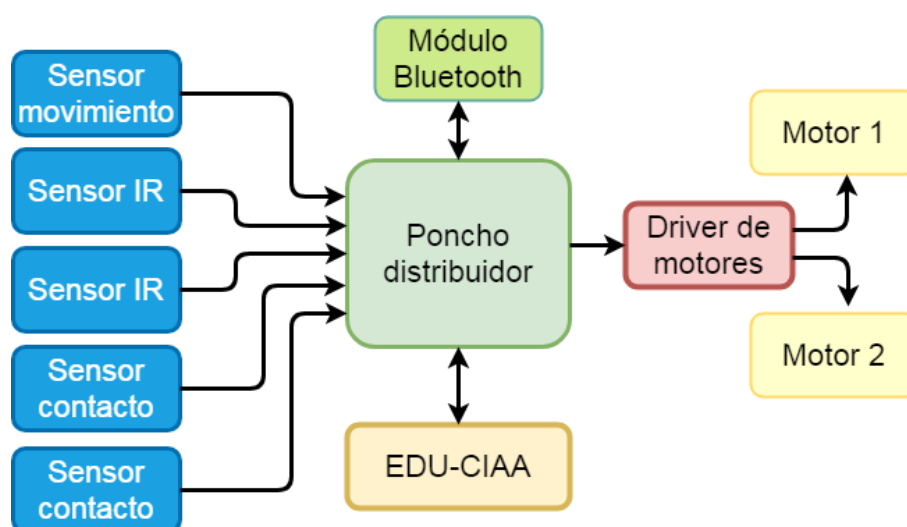


FIGURA 3.1. Diagrama en bloques del robot.

3.1.1. Poncho

Se denominación “Poncho” se utiliza entre la comunidad del proyecto CIAA para referirse a una placa de expansión de “shield” que se conecta sobre algún procesador de la familia CIAA. Para este proyecto se diseñó un poncho para facilitar las conexiones de la placa EDU-CIAA con los sensores, actuadores y el módulo de comunicación bluetooth.

Diseño esquemático del poncho

El poncho consta de conectores para las señales de entrada:

- Sensores infrarrojos (2).
- Finales de carrera (2).
- Sensor de movimiento (1).

A su vez, permite la conexión con los dispositivos de salida

- Módulo de control de motores.
- Relé actuador (en la placa).
- Buzzer y LEDs (en la placa).

La placa posee conexionado para montar un módulo HC-05 de comunicación bluetooth y un conector destinado a dispositivos I2C (como podría ser un módulo de giróscopo o acelerómetro).

Diseño PCB del poncho

La placa fue diseñada durante la cursada de la asignatura “diseño de circuitos impresos”, según los lineamientos expuestos en la documentación para ponchos CIAA. Se procedió a la fabricación de la placa utilizando medios caseros de manufactura.

El diseño de PCB se realizó con el software KiCad [18] (Versión 5.1.9), el cual es un paquete de software para el diseño de circuitos electrónicos o EDA (Electronic Design Automation). En la figura 3.2 se observa el modelo 3D de la placa y sus componentes.

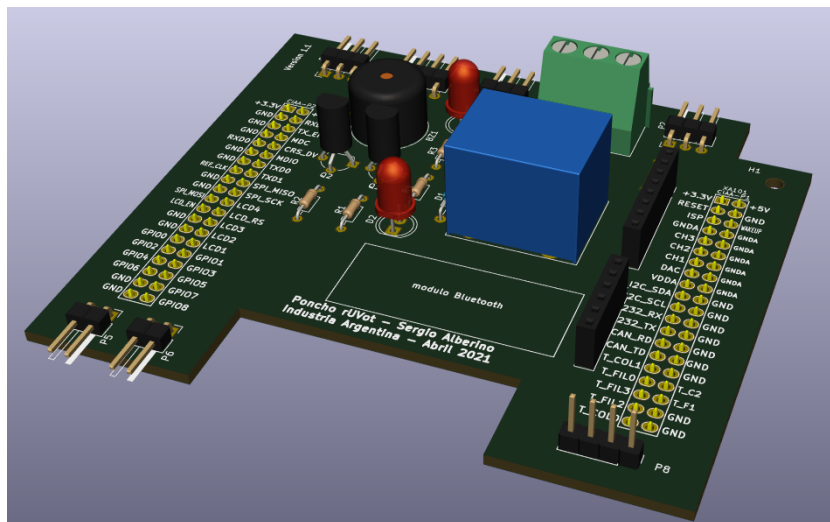


FIGURA 3.2. Vista del modelo 3D del poncho rUVot.

En la figura ?? se presenta el circuito esquemático del poncho donde se puede observar el conexionado eléctrico.

3.1.2. Esquema de de comunicaciones

3.2. Diseño mecánico

3.2.1. Gabinete del robot

3.2.2. Motores

3.3. Diseño de software

3.3.1. Tarea de control de motores

3.3.2. Tarea de comunicaciones

Capítulo 4

Ensayos y resultados

4.1. Pruebas funcionales del hardware

En este capítulo se detallan los ensayos realizados para comprobar el correcto funcionamiento de hardware y firmware, y la interacción de los módulos que componen el robot.

4.1.1. Validación de movimientos del robot

4.1.2. Validación módulo de comunicaciones Bluetooth

4.1.3. Validación detección de obstáculos

4.1.4. Validación de navegación autónoma

4.2. Pruebas no Funcionales

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

La idea de esta sección es resaltar cuáles son los principales aportes del trabajo realizado y cómo se podría continuar. Debe ser especialmente breve y concisa. Es buena idea usar un listado para enumerar los logros obtenidos.

Algunas preguntas que pueden servir para completar este capítulo:

- ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los requerimientos?
- ¿Cuán fielmente se pudo seguir la planificación original (cronograma incluido)?
- ¿Se manifestó algunos de los riesgos identificados en la planificación? ¿Fue efectivo el plan de mitigación? ¿Se debió aplicar alguna otra acción no contemplada previamente?
- Si se debieron hacer modificaciones a lo planificado ¿Cuáles fueron las causas y los efectos?
- ¿Qué técnicas resultaron útiles para el desarrollo del proyecto y cuáles no tanto?

5.2. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.

Bibliografía

- [1] United Nations Economic Commission for Europe. *Homepage*. <https://unece.org>. 2021. (Visitado 01-05-2021).
- [2] International Federation of Robotics (2021). *Homepage*. <https://unece.org>. 2021. (Visitado 01-05-2021).
- [3] International Federation of Robotics. *Cleaning robots reduce infections in hospitals and public spaces*. <https://ifr.org/news/cleaning-robots-reduce-infections>. 2020. (Visitado 01-05-2021).
- [4] Mundo PMMI. *Más robots para desinfección llegan al mercado*. <https://www.mundopmmi.com/automatizacion/article/21174349/ms-robots-para-desinfeccion-llegan-al-mercado>. 2019. (Visitado 09-05-2021).
- [5] Infowine. *Robots equipados con luz UV para el tratamiento del oídio*. <https://www.mundopmmi.com/automatizacion/article/21174349/ms-robots-para-desinfeccion-llegan-al-mercado>. 2020. (Visitado 09-05-2021).
- [6] Agencia NOVA. *El invento argentino que elimina los virus con luz ultravioleta*. <https://www.mundopmmi.com/automatizacion/article/21174349/ms-robots-para-desinfeccion-llegan-al-mercado>. 2021. (Visitado 09-05-2021).
- [7] Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España). *Informe sobre utilización de la radiación ultravioleta (UVC) para desinfección*. <http://hdl.handle.net/10261/216311>. 2020. (Visitado 09-05-2021).
- [8] IES Committee Report: Germicidal Ultraviolet (GUV). *IES Standards Committee April 15, 2020 as a Transaction of the Illuminating Engineering Society*. 2020. ISBN: 978-0-87995-389-8. URL: <https://media.ies.org/docs/standards/IES-CR-2-20-V1-6d.pdf>.
- [9] International Ultraviolet Association Inc. *UV Disinfection for COVID-19*. <https://ifr.org/news/cleaning-robots-reduce-infections>. 2020. (Visitado 01-05-2021).
- [10] Monsolar.net. *Desinfección del Coronavirus en ambientes interiores. Luz Ultravioleta*. <http://www.monsolar.net/desinfeccion-del-coronavirus-en-ambientes-interiores-luz-ultravioleta-con-efecto-germicida-uv-g/>. 2021. (Visitado 09-05-2021).
- [11] World Health Organization. *COVID-19 Mythbusters*. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters>. 2021. (Visitado 01-05-2021).
- [12] Proyecto CIAA. *Computadora Industrial Abierta Argentina*. <http://www.proyecto-ciaa.com.ar/>. 2014. (Visitado 01-05-2021).
- [13] Robots Didácticos. *Uso de la placa L298N para motores de CC*. <http://robots-argentina.com.ar/didactica/uso-de-la-placa-l298n-para-motores-de-cc/>. 2021. (Visitado 01-05-2021).
- [14] STMicroelectronics. *L298 Dual full-bridge driver datasheet*. <https://www.st.com/en/motor-drivers/l298.html>. 2021. (Visitado 01-05-2021).

- [15] Web-Robótica.com. *Como usar el módulo sensor de Infrarrojos IR FC-51 para evitar obstáculos con Robot Arduino/Genuino*.
<https://www.web-robotica.com/arduino/conceptos-basicos-arduino/como-usar-el-modulo-sensor-de-infrarrojos-ir-fc-51-para-evitar-obstaculos-con-robot-arduinogenuino>. 2015. (Visitado 01-05-2021).
- [16] Pilas Recargables. *Baterias recargables 18650*.
<https://www.pilasrecargables.info/baterias-18650/>. 2021. (Visitado 01-05-2021).
- [17] Mundo PMMI. *HC-05 Datasheet Bluetooth Transceiver Module*.
<https://maker.pro/custom/tutorial/hc-05-bluetooth-transceiver-module-datasheet-highlights>. 2021. (Visitado 09-05-2021).
- [18] <https://www.kicad.org/about/kicad/>.