

**UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACIÓN E  
INFORMÁTICA**



**Plan de proyecto: Fase 3 Final  
“Robot Separador de Bloques”**

**Alumnos:** Nicolas Olivares  
Victor Breems  
Sebastian Cahuachia  
Gabriel Delgado  
Willy Cruz

**Asignatura:** Proyecto I

**Profesor:** Baris Klobertanz

**DICIEMBRE - 2025  
ARICA - CHILE**

## Historial de Cambios

Fecha	Versión	Descripción	Autor(es)
26/09/2025	1.0	Formulación del Proyecto	Nicolas Olivares, Sebastian Cahuachia
02/10/2025	1.1	Recopilar datos	Nicolas Olivares, Sebastian Cahuachia
03/10/2025	1.2	Recopilar datos	Nicolas Olivares, Victor Breems, Sebastian Cahuachia
09/10/2025	1.3	Modificación del ítem Organización del Personal y Planificación del Proyecto	Nicolas, Olivares, Victor Breems
10/10/2025	1.4	Avance del ítem Planificación del Proyecto y Planificación de los Recursos	Sebastian Cahuachia, Nicolas Olivares, Victor Breems
16/10/2025	1.5	Avance del ítem Conclusión y Referencias	Nicolas Olivares, Sebastian Cahuachia, Victor Breems
17/10/2025	1.6	Revisión del Informe 1	Nicolas Olivares, Sebastian Cahuachia, Victor Breems, Willy Cruz, Gabriel Delgado
14/12/2025	1.7	Revisión del Informe 2	Nicolas Olivares, Sebastian Cahuachia, Victor Breems, Willy Cruz, Gabriel Delgado
30/12/2025	1.8	Revisión del Informe 3	Nicolas Olivares, Sebastian Cahuachia, Victor Breems, Willy Cruz, Gabriel Delgado

## Tabla de Contenidos

<b>1. Panorama General</b>	<b>5</b>
1.1. Especificación del Problema	5
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivo Específico	5
1.3. Restricciones	6
1.4. Entregables	6
<b>2. Organización del Personal</b>	<b>7</b>
2.1. Descripción de los Roles	7
2.2. Personal que cumplirá los Roles	8
2.3. Mecanismos de Comunicación	8
<b>3. Planificación del Proyecto</b>	<b>9</b>
3.1. Actividades	9
3.2. Carta Gantt	10
3.3. Gestión de Riesgos	11
<b>4. Planificación de los Recursos</b>	<b>13</b>
4.1. Hardware	13
4.2. Software	13
4.3. Estimación de Costos	13
<b>5. Análisis y diseño</b>	<b>16</b>
5.1. Especificación de requerimientos	16
5.1.1. Requerimientos funcionales	16
5.1.2. Requerimientos no funcionales	17
5.2. Arquitectura de software	18
5.3. Diseño inicial de la interfaz gráfica de usuario (GUI)	19
<b>6. Implementación</b>	<b>20</b>
6.1. Fundamentos de los movimientos	20
6.2. Descripción del sistema	20
6.2.1. Cliente	20
6.2.2. Servidor	26
6.2.3. Interfaz gráfica de usuario (GUI)	27
<b>7. Resultados</b>	<b>28</b>

<b>7.1. Estado actual del proyecto</b>	<b>28</b>
<b>7.2. Problemas encontrados y solucionados</b>	<b>28</b>
<b>8. Prueba del funcionamiento del sistema</b>	<b>29</b>
<b>8.1 Descripción de la prueba de funcionamiento</b>	<b>29</b>
<b>8.2 Resultados observados para la prueba de funcionamiento</b>	<b>30</b>
<b>9. Manual de Usuario</b>	<b>30</b>
<b>10. Conclusión</b>	<b>32</b>
<b>11. Referencias</b>	<b>33</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Roles asignados al personal	<b>8</b>
<b>Tabla 2:</b> Actividades	<b>9</b>
<b>Tabla 3:</b> Gestión de riesgos	<b>11</b>
<b>Tabla 4:</b> Costos de Hardware	<b>13</b>
<b>Tabla 5:</b> Costo de Software	<b>14</b>
<b>Tabla 6:</b> Costo de Trabajador	<b>14</b>
<b>Tabla 7:</b> Total Costo	<b>15</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Carta gantt	<b>9</b>
<b>Figura 2:</b> Diagrama	<b>18</b>
<b>Figura 3:</b> Wireframe de baja fidelidad	<b>19</b>
<b>Figura 4:</b> Generación dinámica del programa	<b>21</b>
<b>Figura 5:</b> Envío y ejecución del programa en el hub por Bluetooth	<b>22</b>
<b>Figura 6:</b> Gestión de conexión y envío de comandos	<b>23</b>
<b>Figura 7:</b> Panel de estado y actualización de logs	<b>24</b>
<b>Figura 8:</b> Controles de movimiento (botones)	<b>25</b>
<b>Figura 9:</b> Servidor físico	<b>26</b>

# 1. Panorama General

## 1.1 Introducción

Durante el presente semestre se desarrolló un proyecto grupal cuyo objetivo fue diseñar y construir un robot utilizando el kit educativo LEGO SPIKE PRIME. El robot es capaz de identificar y separar bloques LEGO según su color, clasificándolos en compartimentos específicos (amarillo, azul, verde, rojo y morado).

La programación fue desarrollada en Python, buscando un funcionamiento autónomo, eficiente y de fácil uso. A lo largo del semestre se realizaron mejoras progresivas tanto en la estructura física como en el código, optimizando el desempeño general del sistema.

La construcción del robot se realizó de manera eficiente gracias a los recursos educativos disponibles de LEGO SPIKE PRIME, los cuales proporcionaron guías paso a paso para el armado del modelo. Paralelamente, el desarrollo del código en Python fue optimizado clase a clase, mejorando la velocidad y precisión del robot en sus tareas.

## 1.2 Objetivo

### 1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un robot utilizando la plataforma LEGO SPIKE PRIME capaz de identificar y separar bloques según su color, mediante el uso de sensores y motores, implementando programación en Python para lograr un funcionamiento autónomo, preciso y eficiente.

### 1.2.2 Objetivo Específico

- Ensamblar el robot utilizando el set LEGO SPIKE PRIME:  
Se mide verificando que el robot esté completamente armado y operativo, con todos los sensores y motores correctamente conectados y reconocidos por el hub.
- Investigar la librería Python de LEGO SPIKE PRIME:  
Se mide mediante el uso efectivo de la librería en el control del robot, evidenciado en el código desarrollado.
- Realizar pruebas de funcionamiento del robot:  
Se mide ejecutando pruebas donde el robot complete correctamente las acciones esperadas sin fallas.
- Diseñar una interfaz gráfica para el control del robot:

Se mide comprobando que la interfaz permita enviar comandos y que el robot responda correctamente.

- Optimizar la velocidad y precisión en la detección de colores:  
Se mide comparando tiempos de detección y porcentaje de aciertos antes y después de la optimización.
- Desarrollar el código en el lenguaje de programación Python:  
Se mide mediante la ejecución exitosa del programa, sin errores y cumpliendo las funcionalidades definidas.

### 1.3 Restricciones

- El sistema debe programarse en Python.
- Se debe utilizar exclusivamente el set LEGO SPIKE PRIME.
- El proyecto debe gestionarse mediante la plataforma Redmine.
- El robot debe ser capaz de moverse y separar bloques por color.
- El grupo debe contar con un mínimo de cinco integrantes.
- El proyecto cuenta con un tiempo determinado de desarrollo.
- El robot debe permitir control remoto para pausar y reanudar su funcionamiento.

### 1.4 Entregables

Bitácoras: Informes de carácter semanal que registran el progreso del equipo a lo largo del desarrollo del proyecto, incluyendo las actividades realizadas, las dificultades enfrentadas, las recomendaciones de mejora y las acciones ejecutadas. Elaboradas por un integrante designado, permiten disponer de una visión detallada que apoya la toma de decisiones, la asignación de responsabilidades y la identificación de temas a tratar en conjunto.

Carta Gantt: Representación gráfica de la planificación del proyecto, en la cual se visualizan las tareas, su duración y secuencia dentro de una línea de tiempo, facilitando la gestión y control de los plazos y recursos mediante el seguimiento del avance de las actividades.

Informe de Formulación: Documento que expone la organización y estrategia del equipo para el cumplimiento de los objetivos de la asignatura. En él se describen la asignación de roles, las metas planteadas y las medidas implementadas para alcanzar el propósito académico. Asimismo, se incluyen las primeras observaciones surgidas durante el proceso de desarrollo y la documentación relevante recopilada a lo largo del semestre.

Presentaciones: Instancias en las que se exponen los objetivos del proyecto, los desafíos enfrentados y las soluciones aplicadas. Además, se destacan los logros obtenidos, la distribución del equipo de trabajo y se entrega una visión general del funcionamiento del robot.

## 2. Organización del personal

La organización del trabajo en equipo resulta fundamental para el desarrollo eficiente del proyecto, ya que permite una distribución adecuada de las tareas y responsabilidades requeridas para alcanzar los objetivos establecidos.

### 2.1 Descripción de los roles y responsabilidades

Jefe de proyecto: Representante del equipo, responsable de supervisar y coordinar el avance del proyecto, además de velar por el cumplimiento eficiente de los objetivos establecidos.

Ensamblador: Encargado del montaje y armado de las piezas del robot, supervisa el correcto funcionamiento de sus componentes y colabora con el programador para asegurar que el diseño físico sea compatible con la lógica del software.

Programador: Responsable del desarrollo de la codificación y del correcto funcionamiento del robot, trabajando en conjunto con el ensamblador para garantizar la coherencia entre el software y el hardware.

Documentador: Responsable de registrar el progreso del proyecto y de la elaboración de los informes correspondientes.

Diseñador: Encargado de la creación del logotipo y del diseño estético general del proyecto.

### 2.2 Personal que cumplirá los Roles

En la **Tabla 1** muestra los roles de cada integrante del Grupo:

**Tabla 1:** *Roles asignados al personal*

Rol	Responsable
Jefe de Proyecto	Victor Breems
Ensamblador	Sebastian Cahuachia
Programador	Gabriel Delgado

Diseñador	Willy Cruz
Documentador	Nicolas Olivares

## 2.3 Métodos de Comunicación

Los métodos de comunicación utilizados por el equipo son WhatsApp, empleado para el envío de mensajes ante situaciones emergentes, y Discord, plataforma utilizada para la realización de reuniones remotas y coordinación de actividades tanto dentro como fuera de la universidad.

## 3. Planificación de Proyecto

### 3.1 Actividades

**Tabla 2: Actividades**

Nombre	Responsable
Preparar y programar hub del robot	Todos los integrantes del grupo.
Desarrollar Prototipo del robot en lego con python	Gabriel Delgado Willy Cruz
Organizar roles y planificar proyecto del robot	Todos los integrantes del grupo.
Probar movimientos y funcionamiento del robot(separador de color)	Gabriel Delgado Willy Cruz
Armar primer modelo base del robot	Nicolas Olivares



	Victor Breems Sebastian Cahuachia
Armar separador de bloques por color con sensor	Nicolas Olivares Victor Breems Sebastian Cahuachia
Terminar primer modelo de separador de bloques con sensor	Nicolas Olivares Victor Breems Sebastian Cahuachia
Programar interfaz inalámbrica para control manual del robot	Nicolas Olivares Victor Breems Sebastian Cahuachia

### 3.2 Carta Gantt

Se presentan las tareas del proyecto junto con su estado de avance y las fechas correspondientes en las que se están desarrollando.

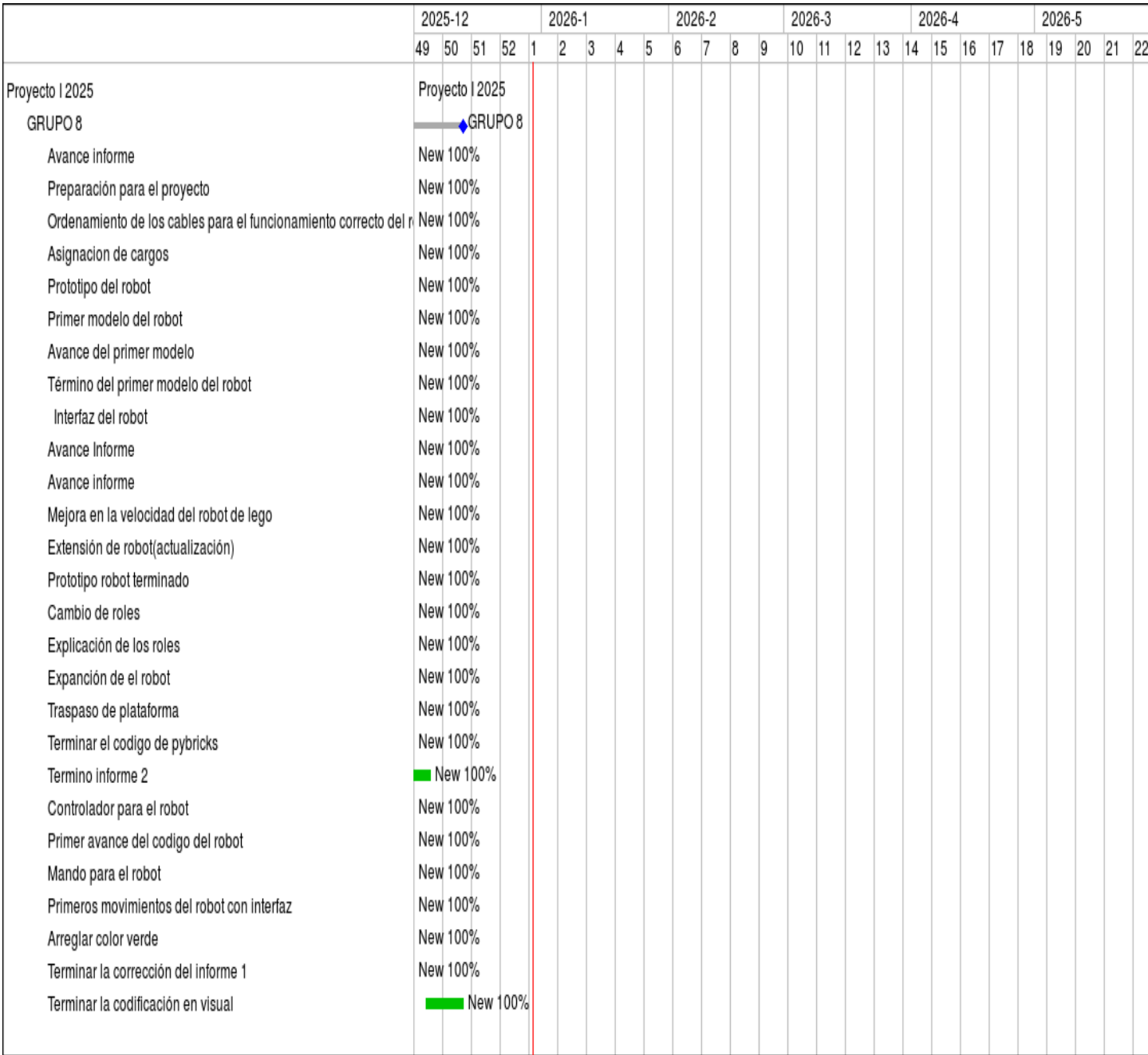


Figura 1: Carta Gantt

3.3. Gestión de Riesgos

A continuación, se presenta una tabla que muestra un desglose de los problemas identificados durante la primera fase del proyecto. Dicha tabla resume el impacto de cada desafío, clasificando los riesgos en cinco niveles distintos, los cuales se asocian a diferentes tipos de daño

1. Daño catastrófico: Requiere la aplicación inmediata de medidas correctivas, ya que puede provocar la detención del proyecto o un retraso significativo, incluso implicando la necesidad de reiniciar su desarrollo desde el inicio.
2. Daño crítico: Exige la implementación de acciones correctivas oportunas, debido a que puede generar retrasos en varias etapas del proyecto.
3. Daño circunstancial: Debe resolverse de manera inmediata, ya que puede afectar el desarrollo de una etapa fundamental del proyecto.
4. Daño irrelevante: Corresponde a un imprevisto de baja importancia, que no requiere atención prioritaria y puede ser solucionado en cualquier momento.
5. Daño recurrente: No representa un impacto significativo, sin embargo, se presenta de forma reiterada y puede generar retrasos en las sesiones de trabajo, aunque no en las etapas del proyecto.

**Tabla 3: Gestión de riesgos**

Riesgo	Nivel de impacto	Acción Remedial
Descarga de batería del robot.	5	Utilizar su cargador y volver a utilizarlo cuando tenga una carga considerable para su uso.
Error en la codificación	5	Corregir los principales errores lógicos y sintácticos identificados e implementar nuevas soluciones
Inasistencias en horas de trabajo del proyecto	5	Organizar y coordinar los horarios disponibles entre todos.

Pérdida de legos	3	Solicitar esas piezas al encargado de los legos en caso de que no encontremos la pieza le avisame al encargado.
Problemas con la conexión a internet.	3	Buscar una red estable o compartir internet desde un teléfono celular.
Desempeño del robot no es eficiente a causa de fallas no previstas	2	Buscar hacer un robot más adecuado a lo que estamos buscando y sea eficiente.
Caída accidental del robot	2	Recuperar las piezas y rearmar el robot en caso que se rompa una pieza le debemos avisar al encargado para que pedir un repuesto.
Pérdida de información necesaria para presentar el proyecto	2	Hacer un respaldo de la información importante o necesaria en un usb o disco duro.

## 4. Planificación de los Recursos

La planificación del proyecto requiere la organización de los recursos que serán utilizados, con el fin de realizar un análisis detallado de los gastos asociados, los cuales se dividen en tres categorías: hardware, software y costos de personal.

### 4.1 Hardware

- Set LEGO SPIKE PRIME.
- Computador con sistema operativo compatible para la programación y control del robot.

## 4.2 Software

- Redmine, plataforma de gestión y organización del proyecto.
- Sistema Operativo Windows, utilizado para la programación del robot.
- Aplicación LEGO SPIKE, empleada para el desarrollo y carga del código en el robot.
- Pybricks.
- Visual Studio Code.
- Python.

## 4.3 Estimación de Costos

La **Tabla 4** muestra el costo de hardware:

**Tabla 4:** *Costos de Hardware*

Hardware	Cantidad	Precio a pesos Chilenos
Set Lego SPIKE PRIME	1	\$ 764.925 clp
Kit de extensión de Lego SPIKE PRIME	1	\$ 157.990 clp
Lenovo Thinkpad x390 yoga	5	\$ 599.990 clp
Total:	—	\$ 3.922.865 clp

La **Tabla 5** muestra Costo de Software:

**Tabla 5:** *Costo de Software*

Producto	Precio
Licencia Microsoft Office	\$ 14.990 clp
Pybricks	\$ 0 clp
Visual Studio Code	\$ 0 clp
Python	\$ 0 clp

Total:	\$ 14.990
--------	-----------

La **Tabla 6** muestra Costo de Trabajador:

**Tabla 6:** *Costo de Trabajador*

Rol	Horas	Horas Extras	Precio/Hora
Jefe del Proyecto	56 horas	15 horas	\$ 30.000 clp
Programador	48 horas	12 horas	\$ 28.000 clp
Ensamblador	48 horas	4 horas	\$ 23.000 clp
Documentador	54 horas	14 horas	\$ 25.000 clp
Total:	206 horas	45 horas	\$ 106.000 clp

Destacado:

- La contabilización de las horas trabajadas se considera a partir de la conformación del grupo de trabajo.
- Para la categorización de las horas de trabajo, se tomó en cuenta el tiempo correspondiente a las actividades realizadas durante las clases.
- En el caso de las horas extras, se consideró el tiempo trabajado fuera del horario de clases, pero dentro del mismo departamento.
- Para la estimación del valor por hora del costo de personal, se tomó como referencia el promedio de remuneración de un ingeniero civil informático en Chile, ajustado según los roles desempeñados por cada integrante, información obtenida a partir de consultas en foros y fuentes disponibles en internet.

La **Tabla 7** muestra Total Costo:

**Tabla 7:** *Total Costo*

Costo Hardware	\$ 3.997.855 clp
Costo Software	\$ 14.990 clp

Costo Empleados	\$ 6.706.000 clp
Total:	\$ 10.643.855 clp

## 5. Análisis y diseño

### 5.1 Especificación de requerimientos

Antes de definir los requerimientos del sistema, es necesario considerar los siguientes aspectos fundamentales.

- En primer lugar, se debe comprender claramente el problema a resolver, así como los objetivos del proyecto y la solución propuesta. En este caso, el objetivo es desarrollar un robot capaz de identificar y clasificar bloques LEGO según su color, utilizando el set LEGO SPIKE PRIME y programación en Python.
- Asimismo, es importante identificar al usuario y al cliente del sistema, quienes forman parte de los stakeholders del proyecto.
  - El usuario: corresponde a la persona que utilizará con mayor frecuencia el sistema, interactuando directamente con el robot y su interfaz gráfica.
  - El cliente: corresponde a la entidad académica que solicita y evalúa el desarrollo del proyecto en el contexto de la asignatura Proyecto I.
- La correcta identificación de estos actores permite definir requerimientos coherentes con las necesidades del proyecto y con los objetivos académicos planteados.

#### 5.1.1 Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales describen las acciones y comportamientos que el sistema será capaz de realizar, considerando tanto la solución propuesta como las expectativas de los stakeholders identificados previamente.

Los requerimientos funcionales del sistema se enumeran a continuación, permitiendo su verificación durante las pruebas del proyecto:

RF-01: El sistema debe detectar automáticamente el color de una pieza LEGO utilizando el sensor de color del kit LEGO SPIKE PRIME.

RF-02: El sistema debe clasificar las piezas detectadas en compartimentos físicos separados según su color (amarillo, azul, verde, rojo y morado).

RF-03: El robot debe desplazarse de forma controlada para posicionarse correctamente frente al compartimento correspondiente.

RF-04: El sistema debe permitir iniciar, mover, pausar y reanudar el proceso de clasificación mediante la interfaz gráfica de usuario.

RF-05: Una vez iniciado el proceso, el robot debe operar de forma autónoma sin intervención del usuario.

Quedan fuera del alcance de esta fase funcionalidades más avanzadas, tales como la incorporación de señales sonoras asociadas al reconocimiento de colores por parte del sensor, las cuales permitirían realizar la clasificación de manera no visual, incluso de forma remota y sin apoyo de una interfaz gráfica. Estas funcionalidades podrán ser abordadas en etapas posteriores del proyecto.

### **5.1.2 Requerimientos no funcionales**

Los requerimientos no funcionales corresponden a atributos de calidad que permiten evaluar cómo debe funcionar el sistema, considerando su desempeño, estabilidad y facilidad de uso. Estos atributos describen propiedades medibles y verificables del sistema.

RNF-01 (Disponibilidad): El robot debe operar de forma continua durante al menos 30 minutos sin fallas durante la demostración del proyecto.

RNF-02 (Robustez): El sistema debe continuar operando ante errores menores, como lecturas erróneas ocasionales del sensor de color, sin detener completamente su ejecución.

RNF-03 (Rendimiento): El robot debe clasificar una pieza LEGO en un tiempo máximo de 5 segundos desde su detección.

RNF-04 (Usabilidad): La interfaz gráfica debe permitir al usuario comprender y controlar el sistema sin necesidad de capacitación previa, mediante botones claramente identificados.

## **5.2 Arquitectura de software**



En el presente proyecto se utiliza una arquitectura de tipo cliente–servidor, la cual divide el sistema en componentes con responsabilidades claramente definidas y facilita la interacción entre el usuario y el robot clasificador.

- Servidor físico:

Corresponde al hub LEGO SPIKE PRIME, el cual constituye el hardware del sistema. Este componente ejecuta software interno (firmware o runtime) y es responsable del control directo de los motores y sensores del robot. En este sentido, el hub actúa como el dispositivo que presta el servicio físico del sistema, permitiendo el movimiento del robot y la lectura del sensor de color.

- Servidor lógico:

Corresponde al firmware que se ejecuta directamente en el hub LEGO SPIKE PRIME, el cual implementa la lógica de control del sistema.

Este firmware se encarga de interpretar las instrucciones del programa, gestionar los sensores y motores, y coordinar la ejecución de las acciones del robot.

Aunque se ejecuta sobre el hardware del hub, cumple el rol de servidor lógico, mientras que el hub como dispositivo físico corresponde al servidor físico.

- Cliente:

El cliente corresponde a la aplicación desarrollada en Python que incluye la interfaz gráfica de usuario (GUI). Este componente permite la interacción directa del usuario con el sistema, facilitando el envío de comandos de control y movimiento hacia el robot.

- Comunicación:

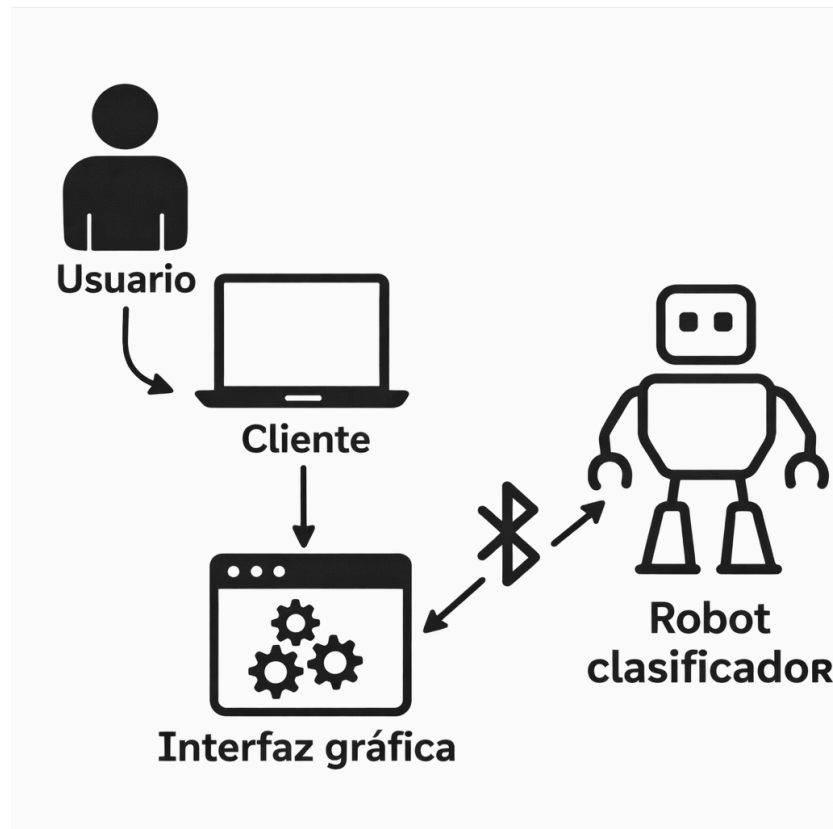
La comunicación entre cliente y servidor se realiza mediante una conexión Bluetooth, utilizando la librería Pybricksdev como herramienta de enlace entre el computador y el hub LEGO SPIKE PRIME.

El flujo de comunicación del sistema es el siguiente:

- El usuario interactúa con la interfaz gráfica presionando un botón.
- El cliente genera un archivo temporal con código Pybricks según el comando seleccionado.
- El cliente utiliza Pybricksdev para enviar dicho programa al hub mediante Bluetooth.

- El hub LEGO SPIKE PRIME ejecuta las instrucciones recibidas y acciona los motores y sensores.
- La interfaz gráfica muestra en el panel de estado los mensajes de conexión y ejecución, indicando éxito o error.

La **Figura 2** se presenta un diagrama que ilustra la arquitectura del sistema y la interacción entre sus componentes.



**Figura 2:** *Diagrama*

### 5.3 Diseño inicial de la interfaz gráfica de usuario (GUI)

En esta sección se presenta el diseño inicial de la interfaz gráfica de usuario mediante un wireframe de baja fidelidad. Este diseño corresponde a un bosquejo que permite planificar la estructura básica de la interfaz y la disposición de sus elementos principales.

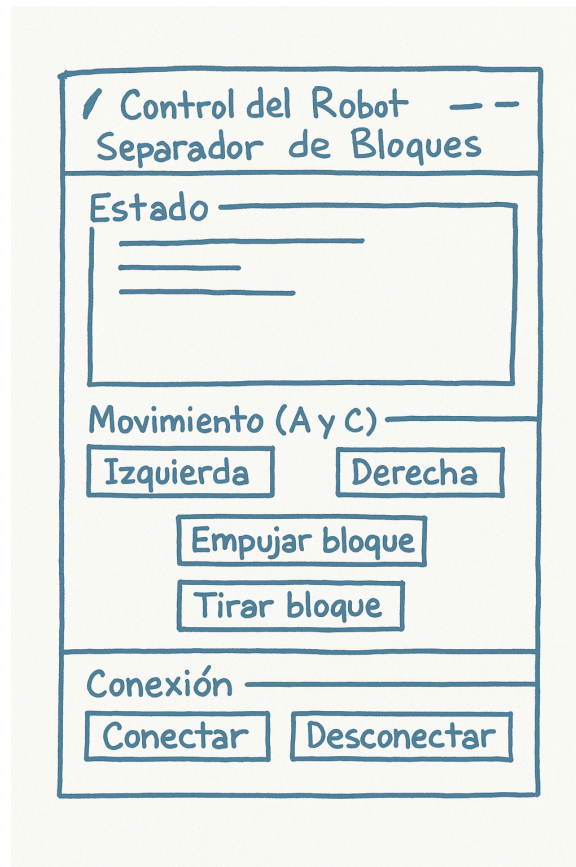


Figura 3: Wireframe de baja fidelidad

## 6. Implementación

En esta sección se presentan los avances obtenidos hasta el momento en el desarrollo del proyecto. Se incluye la justificación de la configuración del robot a partir de principios físicos básicos, así como una descripción de los componentes más relevantes del sistema implementado.

### 6.1 Fundamentos de los movimientos

Para justificar el movimiento de giro del robot, se considera un giro de  $90^\circ$  realizado en un tiempo aproximado de 1,5 segundos.

La velocidad angular se calcula mediante la fórmula:

$$\omega = \theta / t$$

Donde:

$$\theta = 90^\circ = \pi/2 \text{ rad}$$

$$t = 1,5 \text{ s}$$

$$\omega = (\pi/2) / 1,5 \approx 1,05 \text{ rad/s}$$

Este valor permite un giro controlado y preciso, evitando errores en la alineación del robot frente a los compartimentos.

## 6.2 Descripción del sistema

### 6.2.1 Cliente

El cliente del sistema corresponde a la aplicación desarrollada en Python que permite la interacción entre el usuario y el robot.

El código del cliente se encuentra disponible en el siguiente repositorio de GitHub:

Repositorio GitHub:

[[https://github.com/pescolo/Robot\\_Separador\\_de\\_Bloques/blob/main/robot\\_clasificador.py](https://github.com/pescolo/Robot_Separador_de_Bloques/blob/main/robot_clasificador.py)]

- **Generación dinámica del programa que ejecuta el robot (create\_program)**

El cliente genera automáticamente un programa en Pybricks según el comando que el usuario seleccione en la interfaz (por ejemplo: izquierda, derecha, empujar o tirar). Para ello, la función `create_program(drive_cmd, claw_cmd)` convierte cada comando en una instrucción de movimiento para los motores mediante `run(...)`. Luego, el programa creado configura el hub (PrimeHub), define los motores según los puertos utilizados y ejecuta la acción solicitada. Finalmente, se incorpora un tiempo de espera breve y se detienen los motores, con el fin de mantener un movimiento controlado y evitar que el robot continúe funcionando sin supervisión.

```
def create_program(drive_cmd: str) -> str:
    drive_commands = {
        'izquierda': "motorC.run_angle(-250, -60)",
        'derecha': "motorC.run_angle(250, -45)",
        'empujar': "motorF.run(500)",
        'tirar': "motorF.run(-500)",
        'leer_color': "",
        'inicio': "motorC.run_target(250, 0)"
    }

    drive_code = drive_commands.get(drive_cmd, "")

    program = f"""
from pybricks.hubs import PrimeHub
from pybricks.pupdevices import Motor, ColorSensor
from pybricks.parameters import Port
from pybricks.tools import wait

hub = PrimeHub()

motorC = Motor(Port.C)
motorF = Motor(Port.F)
sensor = ColorSensor(Port.E)

{drive_code}

color = sensor.color()
print("COLOR:", color)

wait(300)
motorC.stop()
motorF.stop()
"""
    return program
```

**Figura 4:** *Generación dinámica del programa.*

- Envío y ejecución del programa en el hub por Bluetooth (execute\_command)

La ejecución del movimiento en el robot se realiza mediante la función asíncrona `execute_command(hub, drive_cmd, claw_cmd, logger)`. Esta función recibe el programa generado previamente, lo guarda temporalmente como un archivo con extensión `.py` y lo envía al hub para su ejecución utilizando `hub.run(...)`. Durante este proceso, el cliente registra mensajes en el panel de estado de la interfaz, informando si el comando fue enviado correctamente o si ocurrió algún error. Al finalizar, el archivo temporal se

elimina para mantener el sistema ordenado y evitar la acumulación de archivos innecesarios.

```
async def execute_command(hub, drive_cmd, claw_cmd, logger):
    program = create_program(drive_cmd, claw_cmd)

    try:
        with tempfile.NamedTemporaryFile(delete=False, suffix=".py") as temp_file:
            temp_file.write(program.encode("utf-8"))
            temp_file_path = temp_file.name

        logger(f'Enviando programa al hub desde archivo temporal: {temp_file_path}')

        await hub.run(temp_file_path)
        logger(f'Comando ejecutado: drive={drive_cmd}, claw={claw_cmd}')

    except Exception as e:
        logger(f'ERROR ejecutando el comando: {e}')
    finally:
        if 'temp_file_path' in locals() and os.path.exists(temp_file_path):
            os.remove(temp_file_path)
```

**Figura 5:** *Envío y ejecución del programa en el hub por Bluetooth.*

- **Gestión de conexión y envío de comandos por Bluetooth (BLEWorker.\_runner)**

La conexión Bluetooth y el envío de comandos al robot se gestionan mediante un componente asíncrono que funciona como “worker”. En el método \_runner() se busca el hub disponible utilizando find\_device(), luego se crea la conexión con PybricksHubBLE y se establece mediante connect(). Una vez conectado, el sistema se mantiene en ejecución esperando nuevas instrucciones a través de una cola (asyncio.Queue). Cada comando recibido se procesa enviándolo al robot mediante la función execute\_command(...), y el estado del proceso (conexión, ejecución o errores) se informa mediante mensajes registrados en el panel de estado.

```
class DeviceSelectWindow(tk.Toplevel):
    def __init__(self, parent, on_select_callback):
        super().__init__(parent)
        self.on_select_callback = on_select_callback

        self.title("Buscador de Hubs")
        self.geometry("400x450")
        self.attributes("-topmost", True)
        self.grab_set()

        ttk.Label(
            self,
            text="Buscando dispositivos...",
            font=("Arial", 14, "bold")
        ).pack(pady=10)

        self.listbox = tk.Listbox(self)
        self.listbox.pack(fill="both", expand=True, padx=10, pady=10)

        ttk.Button(self, text="Escanear", command=self.start_scan).pack(pady=5)
        ttk.Button(self, text="Conectar", command=self.select_device).pack(pady=5)

        self.devices = []
        self.start_scan()
```

```
async def connect(self):
    try:
        self.hub = PybricksHubBLE(self.device)
        await self.hub.connect()
        self.running = True
        self.log("🔌 Conectado al hub.")

        while self.running:
            cmd = await self.queue.get()
            await execute_command(self.hub, cmd, self.log)

    except Exception as e:
        self.log(f"❌ Error BLE: {e}")

async def disconnect(self):
    self.running = False
    if self.hub:
        await self.hub.disconnect()
        self.hub = None
    self.log("🔌 Hub desconectado.")
```

Figura 6: Gestión de conexión y envío de comandos.

- **Interfaz gráfica: panel de estado y actualización de logs (update\_logs)**

La interfaz gráfica incorpora un panel de estado en el cual se muestran mensajes relevantes del sistema, tales como la búsqueda del hub, el estado de la conexión Bluetooth, la ejecución de comandos y posibles errores. La función `update_logs()` obtiene estos mensajes desde una cola (Queue) y los despliega de manera periódica en el cuadro de texto mediante el uso de `root.after(...)`. Este mecanismo permite mantener la interfaz gráfica responsiva, aun cuando se estén ejecutando tareas de comunicación Bluetooth en segundo plano.

```
def main_gui():
    root = tk.Tk()
    root.title("Control del Robot Separador de Bloques")
    root.geometry("420x520")

    log_queue = Queue()
    worker = BLEWorker(log_queue)
    worker.start()

    frame_log = ttk.LabelFrame(root, text="Estado")
    frame_log.pack(fill="both", padx=10, pady=10)

    txt = tk.Text(frame_log, height=10, state="disabled")
    txt.pack(fill="both", padx=5, pady=5)

    def update_logs():
        while not log_queue.empty():
            msg = log_queue.get()
            txt.config(state="normal")
            txt.insert("end", msg + "\n")
            txt.see("end")
            txt.config(state="disabled")
        root.after(100, update_logs)
```

**Figura 7:** *Panel de estado y actualización de logs.*

- **Interfaz gráfica: controles de movimiento (botones)**



El control manual del robot se implementa mediante botones en la interfaz gráfica, los cuales envían comandos al worker a través de `worker.send_command(...)`. De esta forma, el usuario puede ejecutar acciones de movimiento, como desplazarse hacia la izquierda o derecha, y también activar funciones mecánicas específicas, como empujar o tirar bloques. Este diseño permite un control directo y sencillo del robot desde la GUI, manteniendo una interacción clara entre el usuario y el sistema.

```
# los botones de "Empujar" y "Tirar bloque"
frame_right = ttk.LabelFrame(root, text="Manipular Bloques")
frame_right.pack(fill="both", padx=10, pady=10)

# los botones de "Empujar" y "Tirar bloque"
ttk.Button(frame_right, text="Empujar Bloque", command=lambda: enviar_con_mensaje("empujar", "👉 Empujar el bloque")).grid(row=0, column=0, padx=5)
ttk.Button(frame_right, text="Tirar Bloque", command=lambda: enviar_con_mensaje("tirar", "👉 Tirar el bloque")).grid(row=0, column=1, padx=5)

# Los botones de movimiento
frame_left = ttk.LabelFrame(root, text="Movimiento Izquierda/Derecha")
frame_left.pack(fill="both", padx=10, pady=10)

ttk.Button(frame_left, text="← Izquierda", command=lambda: enviar_con_mensaje("izquierda", "👈 Botón presionado: Izquierda")).grid(row=0, column=0, padx=5)
ttk.Button(frame_left, text="→ Derecha", command=lambda: enviar_con_mensaje("derecha", "👈 Botón presionado: Derecha")).grid(row=0, column=2, padx=5)
ttk.Button(frame_left, text="🏠 Volver al inicio", command=lambda: enviar_con_mensaje("inicio", "👈 Botón presionado: Volver al inicio")).grid(row=0, column=1, padx=5)
```

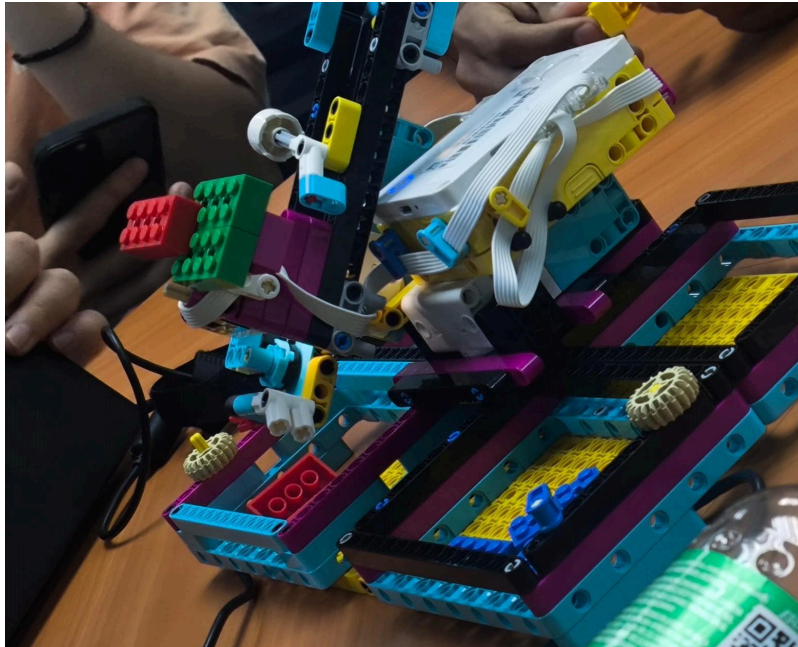
**Figura 8:** *Controles de movimiento (botones).*

## 6.2.2 Servidor

El **servidor físico** corresponde al programa ejecutado directamente en el robot LEGO SPIKE PRIME. Este componente recibe las instrucciones enviadas desde el cliente y controla los motores y sensores necesarios para la clasificación de los bloques.

El código del servidor implementa la lógica principal del sistema, incluyendo la lectura del sensor de color y la activación de los mecanismos de separación.

En la **Imagen 8** se muestra el servidor que se encontraría dentro del Hub LEGO SPIKE PRIME, ya que es allí donde se recibe las instrucciones enviadas desde el cliente.



**Figura 9:** Servidor físico

**Servidor lógico:** Corresponde al firmware que se ejecuta en el hub LEGO SPIKE PRIME, el cual actúa como capa de control lógico del sistema. Este firmware interpreta las instrucciones recibidas desde el computador, gestiona los sensores y motores, y coordina la ejecución de las acciones en el robot. Se denomina servidor lógico porque implementa la lógica de control, mientras que el hub como hardware corresponde al servidor físico.

### 6.2.3 Interfaz gráfica de usuario (GUI)

La interfaz gráfica de usuario permite controlar el funcionamiento del robot separador de bloques de manera manual y supervisar su estado de conexión. En la sección superior se muestra el estado del sistema, donde se visualizan mensajes relacionados con la búsqueda y conexión del robot mediante Bluetooth.

La interfaz incluye controles de movimiento que permiten desplazar el robot hacia la izquierda o derecha, facilitando su posicionamiento durante el proceso de clasificación. Asimismo, se incorporan botones específicos para ejecutar acciones mecánicas, tales como empujar y retirar bloques, permitiendo un control directo de estas funciones.

Finalmente, la sección de conexión dispone de botones para establecer o finalizar la comunicación entre el computador y el robot, otorgando al usuario un control claro y directo sobre la interacción con el sistema.

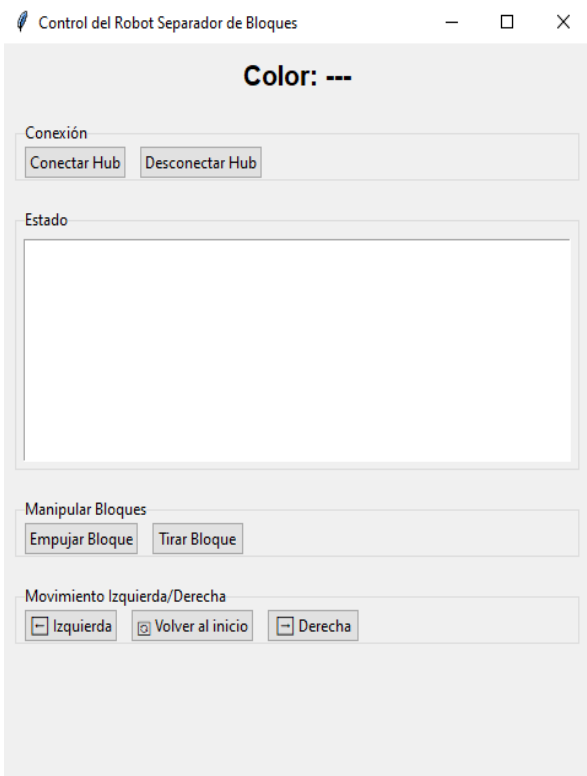


Figura 10: Interfaz gráfica de control del robot separador de bloques

## 7. Resultados

### 7.1 Estado actual del proyecto

Actualmente, el robot es capaz de cumplir estas funciones de identificar y clasificar bloques LEGO por color de manera funcional.

Además se implementó de manera correcta la interfaz gráfica en la cual se puede controlar el robot LEGO SPIKE de manera manual por el usuario.

ID	Funciones	Estado	Resultado
RF-01	Posición inicial	Completo	El robot vuelve a la posición inicial al momento de tirar un bloque.
RF-02	Movimiento del robot	Completo	El robot se mueve de manera eficiente a las posición de cada

			cuadrado para separar los bloques de color.(amarillo, azul, verde, rojo y morado).
RF-03	Control vía Interfaz (GUI)	Completo	La conexión Bluetooth permite iniciar, pausar y mover el robot manualmente.
RF-04	Detección de color	Funcional	Aún tenemos problemas pero puede detectar algunos colores.

## 7.2 Problemas encontrados y solucionados

1. Problema: Dificultades para conectar la PC y el Hub de LEGO SPIKE PRIME.

Solución: Se implementa la librería pybricksdev en Python. Esta librería optimiza la comunicación vía BLE (Bluetooth Low Energy), permitiendo la ejecución de scripts directamente en el Hub de LEGO SPIKE PRIME, eliminando el retraso que generaba el firmware original.

2. Desafío Problemas con el Sensor de Color

Problema: El sensor arrojaba lecturas erróneas debido a las condiciones de luz ambiental, confundiendo colores similares.

Solución: Se utilizó la clase ColorSensor de la librería Pybricks, la cual permite acceder a los valores crudos de reflexión y HSV (Matiz, Saturación). Esto permitió calibrar el sensor por software para filtrar el ruido lumínico, en lugar de usar la detección de color básica predeterminada.

## 8. Prueba de funcionamiento del sistema

### 8.1. Descripción de la prueba de funcionamiento

La prueba de funcionamiento del sistema corresponde a la validación funcional mínima del robot separador de bloques, de acuerdo con la configuración implementada utilizando el kit LEGO SPIKE PRIME y la arquitectura cliente-servidor definida en el proyecto.

El objetivo de esta prueba es comprobar que el sistema cumple con los requerimientos funcionales establecidos, verificando tanto el funcionamiento automático y manual del

robot como la correcta operación de la interfaz gráfica de usuario (GUI) y la comunicación Bluetooth entre el cliente y el robot.

La prueba se desarrolla bajo el siguiente escenario controlado:

1. El robot se encuentra correctamente ensamblado, con sus motores y sensor de color operativos.
2. El hub LEGO SPIKE PRIME se encuentra encendido y disponible para conexión Bluetooth.
3. El usuario ejecuta la aplicación cliente en el computador.
4. Se establece la conexión Bluetooth entre la GUI y el robot.
5. Se colocan bloques LEGO de distintos colores (amarillo, azul, rojo y morado) en la zona de detección.

Durante la prueba, el sistema debe ejecutar un ciclo de clasificación de manera manual:

- Detectar automáticamente el color del bloque mediante el sensor y mostrar el color detectado como texto en la interfaz.
- Enviar las instrucciones desde la interfaz gráfica al robot.
- Desplazar el robot de forma controlada mediante botones en la interfaz, hacia el compartimento correspondiente.
- Ejecutar el mecanismo de empuje o liberación del bloque.
- Mediante el botón de salir, finaliza el ciclo de clasificación.

Durante la prueba, el sistema debe ejecutar un ciclo de clasificación de manera automática:

- Detectar automáticamente el color del bloque mediante el sensor y mostrar el color leído como texto en la interfaz.
- Enviar las instrucciones desde la interfaz gráfica al robot.
- Desplazar el robot de forma automática hacia el compartimento correspondiente.
- Ejecutar el mecanismo de empuje o liberación del bloque según el color detectado.
- Mediante el botón de salir, finaliza el ciclo de clasificación.

## **8.2. Resultados observados para la prueba de funcionamiento\*\***

Para la ejecución de la prueba, se inició la aplicación cliente desarrollada en Python y se estableció la conexión Bluetooth con el hub LEGO SPIKE PRIME a través de la interfaz gráfica. El estado de la conexión fue visualizado en el panel de logs de la GUI, confirmando una conexión exitosa.

Una vez conectado el robot, el usuario utiliza los botones de la interfaz gráfica para enviar comandos de movimiento y acción, verificando que cada instrucción enviada desde la GUI era correctamente recibida y ejecutada por el robot. Posteriormente, se inició el proceso de clasificación automática o de manera manual.

Durante la ejecución de la prueba se observaron los siguientes resultados:

- El sensor de color identificó correctamente los bloques LEGO según su color.
- El robot se desplazó de manera controlada hacia los compartimentos definidos para cada color.
- El mecanismo de empuje funcionó correctamente, depositando cada bloque en el compartimento correspondiente.
- La interfaz gráfica permite monitorear en tiempo real el estado del sistema, mostrando mensajes de conexión, ejecución de comandos y finalización de acciones.
- El sistema operó de forma estable durante toda la prueba, sin interrupciones ni fallas críticas.

La demostración realizada incluye:

- El funcionamiento completo del robot durante el proceso de clasificación.
- El uso de la interfaz gráfica para conectar, controlar y enviar comandos al robot.
- La visualización del envío de acciones desde la GUI mediante el panel de estado.
- La finalización exitosa del proceso de separación de bloques por color.

Los resultados obtenidos confirman que el sistema cumple con los requerimientos funcionales definidos para esta fase del proyecto, validando el correcto funcionamiento del robot, la comunicación cliente-servidor y la usabilidad de la interfaz gráfica.

## **9. Manual de usuario**

Este proyecto implementa un sistema robotizado capaz de identificar y clasificar bloques LEGO según su color. El sistema utiliza una arquitectura “Cliente-Servidor”

donde una interfaz gráfica en Python (PC) controla el Hub LEGO SPIKE Prime vía Bluetooth Low Energy (BLE).

### **Características Principales**

- *Conexión Inalámbrica:* Comunicación optimizada vía Bluetooth usando pybricksdev.
- Interfaz Gráfica (GUI):\* Control manual amigable creado con tkinter.
- Detección de Color:\* Lectura de sensores en tiempo real para identificar bloques.
- Control de Mecanismos:\* Accionamiento independiente de motores para girar el robot y empujar/tirar piezas.

### **Requisitos del Sistema**

#### **Hardware**

- Kit LEGO SPIKE Prime (Hub + Motores + Sensor de Color).
- Computador con conectividad Bluetooth.

#### **Software**

- Python 3.9\* o superior.
- Sistema Operativo: Windows 10/11, macOS o Linux.

### **Dependencias:**

- pip install pybricksdev

### **Instalación**

Descarga el código fuente a tu computadora.

Link repositorio Github: [nicoog261/-ROBOT-SEPARADOR-DE-BLOQUES-](https://github.com/nicoog261/-ROBOT-SEPARADOR-DE-BLOQUES-): un robot utilizando la plataforma LEGO SPIKE PRIME capaz de identificar y separar bloques según su color, mediante el uso de sensores y motores, implementado con programación en Python para lograr un funcionamiento autónomo, preciso y eficiente.

## 10. Conclusión

En conclusión, el desarrollo del robot clasificador de bloques utilizando la plataforma LEGO SPIKE PRIME representó una experiencia de aprendizaje integral y colaborativa para el equipo de trabajo. A lo largo del semestre, cada integrante aportó sus conocimientos desde su rol correspondiente, permitiendo alcanzar los objetivos planteados al inicio del proyecto de manera progresiva y organizada.

Durante las primeras etapas, el trabajo se centró en el ensamblaje del robot y la comprensión de sus componentes físicos, proceso que presentó diversas dificultades iniciales relacionadas con la estructura y el posicionamiento de los mecanismos. No obstante, estas fueron superadas mediante el trabajo en equipo y la iteración constante sobre el diseño, logrando una base física estable y funcional para el sistema.

Posteriormente, el enfoque se trasladó al desarrollo del software, donde se implementó una solución basada en programación en Python, integrando una arquitectura cliente-servidor mediante comunicación Bluetooth. En este contexto, el computador actúa como cliente a través de una interfaz gráfica, mientras que el hub LEGO SPIKE PRIME cumple el rol de servidor, ejecutando las instrucciones recibidas y controlando los motores y sensores del robot. Esta separación de responsabilidades permitió un control más claro del sistema y facilitó la interacción entre el usuario y el robot.

Uno de los principales aprendizajes obtenidos fue el desarrollo y depuración del código, especialmente durante la implementación de la interfaz gráfica y la comunicación Bluetooth. Las instancias en las que el sistema no respondía según lo esperado obligaron al equipo a analizar el funcionamiento interno del programa, revisar el flujo de ejecución y corregir errores lógicos, fortaleciendo así las habilidades de análisis y resolución de problemas.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que el robot es capaz de identificar y clasificar bloques LEGO por color de manera funcional, además de permitir su control manual mediante una interfaz gráfica, cumpliendo con los requerimientos definidos para esta fase del proyecto. Si bien existen funcionalidades avanzadas que quedan fuera del alcance actual, el sistema desarrollado constituye una base sólida para futuras mejoras y ampliaciones, consolidando los conocimientos adquiridos en robótica, programación y trabajo colaborativo.



## 11. Referencias

LEGO Education. (s.f.). *LEGO® Education SPIKE™ Prime (45678)*. <https://www.lego.com>

LEGO Education. (s.f.). *LEGO® Education SPIKE™ Prime expansion set (45681)*. <https://www.lego.com>

Full Compras. (s. f.). *LEGO Education SPIKE Prime (45678)*. <https://www.fullcompras.cl>

Mercado Libre. (s.f.). *Notebook Lenovo Ideapad Gaming 3, Intel Core i7*. <https://www.mercadolibre.cl>

Licencias Originales. (s.f.). *Microsoft Office 2024 Professional Plus*. <https://www.licenciasoriginales.cl>

Paris. (s. f.). *Control DualShock verde camuflado*. <https://www.paris.cl>

Python Software Foundation. (s.f.). *Python programming language*. <https://www.python.org>

Microsoft. (s.f.). *Visual Studio Code*. <https://code.visualstudio.com>

Pybricks. (s.f.). *Pybricks documentation*. <https://pybricks.com>