

UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ



FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA



Plan de proyecto: Fase 3

“Claw-tylda”

Alumnos: Juan-Daniel Castillo
Javier Echeverría
Alexander Pinto
José Terrazas

Profesor: Baris Klobertanz



Tabla 1: Historial de cambios

Fecha	Versión	Descripción	Autor(es)
26/09/2025	1.0	Formulación del Proyecto	Juan-Daniel Castillo Javier Echeverría Alexander Pinto José Terrazas
02/10/25	1.1	Elaboración Panorama General y Especificación del Problema	Juan-Daniel Castillo
03/10/25	1.2	Se añadieron Objetivos, Restricciones y se definió Organización del Personal	Javier Echeverría Alexander Pinto
09/10/25	1.3	Definición de Actividades y actualización Carta Gantt	Juan-Daniel Castillo
10/10/25	1.4	Finalización del encabezado 2	Juan-Daniel Castillo
12/10/25	1.5	Elaboración completa del encabezado 4 y finalización de Entregables	Alexander Pinto Juan-Daniel Castillo
15/10/25	1.6	Elaboración Gestión de Riesgos	José Terrazas
17/10/25	1.7	Elaboración de conclusión y revisión del documento	Juan-Daniel Castillo Alexander Pinto
28/11/25	1.8	Revisión del informe.	Todo el grupo
18/12/25	2.0	Informe fase 2	Todo el grupo
14/12/25	2.1	Fase 2 completa	Todo el grupo
29/12/25	3.0	Fase 3 completa	Todo el grupo



Tabla de Contenidos

1. Panorama General	7
1.1. Especificación del Problema	7
1.2. Objetivos	7
1.2.1. Objetivo General	7
1.2.2. Objetivos Específicos	8
1.3. Restricciones	9
1.4. Entregables	9
2. Organización del Personal	10
2.1. Descripción de los Roles	10
2.2. Personal que cumplirá los Roles	10
2.3. Mecanismos de comunicación	11
3. Planificación del proyecto	11
3.1. Actividades	12
3.2. Carta Gantt	14
3.3. Gestión de Riesgos	15
4. Planificación de los Recursos	17
4.1 Hardware	17
4.2 Software	17
4.3 Estimación de Costos	18
5. Análisis y diseño	20
5.1. Especificación de requerimientos	20
5.1.1. Requerimientos funcionales	20
5.1.2. Requerimientos no funcionales	20
5.2. Arquitectura de software	21
5.3. Diseño inicial de la interfaz gráfica de usuario (GUI)	22
5.3.1 Bocetos de pantalla de inicio	23
5.3.1.1. Boceto 1 Diseño minimalista y claro	23
5.3.1.2. Boceto 2 — Variación con textura ligera	23
5.3.1.3. Boceto 3 — Estilo oscuro con alto contraste	24
5.3.1.4 Boceto 4 — Variante oscura con distribución más definida	25
5.3.1.5 Conclusión del diseño final interfaz de inicio	25
5.3.2 Diseño del controlador por teclado	26
5.3.3 Conclusión del diseño del controlador por teclado	27



6. Implementación	28
6.1. Fundamentos de los movimientos	28
6.2. Descripción del sistema	29
6.2.1. Cliente	29
6.2.2. Comunicación con servidor	31
6.2.3. Servidor	32
6.2.4. Interfaz gráfica de usuario (GUI)	33
6.2.4.1 Pantalla del Controlador por Mando	34
7. Resultados	36
7.1. Estado actual del proyecto	36
7.1.2 Relación con los requerimientos funcionales	37
7.2. Problemas encontrados y solucionados	37
7.2.1 Relación de los problemas con riegos del proyecto	39
8. Prueba de funcionamiento del sistema	39
8.1 Descripción de la prueba de funcionamiento	39
8.2 Resultados observados para la prueba de funcionamiento	40
9. Conclusión	41
9.1. Reflexión sobre aprendizaje	41
10. Referencias	42



Índice de Tablas

Tabla 1: Historial de cambios	2
Tabla 2: Restricciones del proyecto	9
Tabla 3: Organización del personal	10
Tabla 4: Planificación de actividades	12
Tabla 5: Riesgos del proyecto	16
Tabla 6: Costo de hardware	18
Tabla 7: Costo de software	18
Tabla 8: Costo de personal de trabajo	19
Tabla 9: Costos totales	19



Índice de figuras

Figura 1: Carta Gantt	14
Figura 2: Diagrama Cliente-Servidor	22
Figura 3: Pantalla de inicio boceto 1	23
Figura 4: Pantalla de inicio boceto 2	24
Figura 5: Pantalla de inicio boceto 3	24
Figura 6: Pantalla de inicio boceto 4	25
Figura 7: Boceto pantalla de control por teclado	26
Figura 8: Diagrama de cuerpo libre	29
Figura 9: Código cliente	30
Figura 10: Código cliente 2	31
Figura 11.1 y 11.2: Código servidor	32
Figura 12: Pantalla de inicio	33
Figura 13: Pantalla controlador por mando	34



1. Panorama General

En la actualidad la industria minera es una de las principales fuentes económicas de Chile. Según datos del Banco Central de Chile (2024), la minería representó un 11.7% del PIB nacional, por lo que resulta vital para el país mantenerla competitiva a nivel global, para esto es necesario cumplir con los estándares contemporáneos de productividad, costos y seguridad.

El medio para afrontar este desafío es transicionar a la Minería 4.0, un modelo que se caracteriza por la digitalización y automatización de procesos.

1.1. Especificación del Problema

Durante este proyecto, estudiantes de Ingeniería Civil en Computación e Informática, experimentaran una aproximación al escenario real planteado en el panorama general.

Específicamente se implementará una garra robótica capaz de cargar el material fragmentado hacia los vehículos de transporte y controlada a través de una interfaz gráfica, con el fin de mejorar la seguridad y optimizar la eficiencia del proceso.

Para la construcción del prototipo se utilizará el kit Lego Spike Prime, este ofrece las herramientas necesarias para el ensamblaje, ya que cuenta con piezas para construir la estructura de la garra y motores que se encargan de generar los movimientos de apertura, cierre, elevación y desplazamiento lateral. Además cuenta con una API que permite programar los componentes del prototipo para controlar su funcionamiento para conectarlo a una interfaz gráfica.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Implementar un prototipo de garra robótica con el kit Lego Education: Spike Prime, capaz de cargar el material minero hasta el vehículo transportador. Se debe controlar con una interfaz gráfica y contar con capacidad para realizar apertura, cierre, ajuste de altura y desplazamientos laterales.



1.2.2. Objetivos Específicos

- Investigar al menos tres diseños para el robot en las primeras dos semanas de proyecto y compararlos en términos de resistencia estructural, movilidad y tamaño.
- Investigar y seleccionar al menos una biblioteca que sea compatible con el kit Lego Spike Prime, para codificar el movimiento de los motores del robot en las primeras dos semanas.
- Seleccionar y ensamblar un diseño funcional durante el primer mes, debe contar con una estructura que le permita abrir y cerrar la garra, elevarse y desplazarse horizontalmente.
- Codificar los movimientos de apertura y cierre de garra, elevación y desplazamiento lateral de la estructura, hasta la mitad del segundo mes del proyecto.
- Realizar pruebas de compatibilidad de la estructura del robot con la codificación de los movimientos, se deben poder realizar los movimientos principales de la garra. Este objetivo se desarrollará las dos semanas siguientes después de tener listo un prototipo funcional.
- Definir y ensamblar el diseño final para el robot, ajustando los problemas encontrados en las pruebas de compatibilidad, asegurándose de que funcione correctamente, durante el segundo mes del proyecto.
- Realizar ajustes en la codificación de los movimientos del robot, después de definir el diseño final, debe ser capaz de realizar la apertura y cierre de la garra, movimiento de la base,brazo y codo sin romperse, este objetivo debe estar completo al menos 2 semanas antes de la fecha final del proyecto.
- Investigar y seleccionar bibliotecas para codificar la interfaz de usuario de control del robot, durante el primer mes y medio. Este objetivo se debe iniciar después de contar con un prototipo funcional tanto de la estructura como de los movimientos.
- Desarrollar una interfaz gráfica que permita a un usuario controlar los movimientos del brazo,codo,garra y base del robot, se debe tener un prototipo funcional al menos 3 semanas antes de fecha final del proyecto.



1.3. Restricciones

Tabla 2: Restricciones del proyecto

Restricción	Detalle
Limite de tiempo	3 meses.
Material	kit Lego Spike Prime.
Personal	5 personas.
Software	Se debe programar con librerías compatibles con el kit de Lego.
Ubicación	El kit de lego solo se puede usar en la universidad.
Registro	El registro del proyecto se debe realizar en Redmine.

1.4. Entregables

- 1. Informe inicial:** Documento que proyecta la fase de planificación como el alcance y los objetivos que se tiene como expectativa, los roles asignados y los primeros registros de desarrollo que se tuvieron como propuesta inicial.
- 2. Informe final:** Documento que mostrará los resultados y describirá los objetivos completados, servirá para analizar el desempeño y los riesgos que se enfrentaron y así mismo cómo lo afrontaron.
- 3. Presentación oral:** Presentación integral del proyecto, basándose en el informe final del proyecto propiamente tal, junto a puntos claves determinados en su desarrollo. Se concluirá con una demostración del robot, demostrando así todas sus capacidades y un rendimiento satisfactorio.
- 4. Código base del cliente y servidor:** Archivos del código utilizado en el proyecto.
- 5. Página en redmine del proyecto:** Página donde se registra y visualiza la organización de actividades del proyecto mediante la Carta Gantt.
- 6. Bitácora:** Informe semanal que describe el avance del proyecto y los desafíos encontrados, asimismo la distribución de las tareas asignadas y desafíos futuros.



2. Organización del Personal

La organización dentro de un grupo es fundamental para llevar a cabo un trabajo de manera efectiva. Es importante distribuir las tareas de forma adecuada, de modo que cada integrante contribuya al cumplimiento de los objetivos. Los roles fueron elegidos en una reunión, centrándose principalmente en que cada integrante esté en un rol en el que tenga habilidades y se sienta cómodo realizando.

2.1. Descripción de los Roles

- **Jefe de Proyecto:** Es el encargado de la representación del equipo de trabajo, y tiene la responsabilidad de planificar, organizar y supervisar todas aquellas etapas en las que fue desarrollado el proyecto. Asimismo, es quien coordina las tareas que tratará cada integrante y vela por el cumplimiento de los objetivos y los plazos previamente establecidos.
- **Ensamblador:** Es quien se encarga del montaje y armado de las piezas del robot, asegurando la eficiencia de cada componente. Por otro lado, contribuye con el programador para verificar el cumplimiento de las funcionalidades y el rendimiento del sistema.
- **Programador:** Tiene la responsabilidad del desarrollo de codificación y programación del robot, velando por su óptimo rendimiento. Coopera con el ensamblador para todos aquellos ajustes y optimizaciones del robot.
- **Documentador:** Tiene a su cargo el registro de avances del proyecto, por ejemplo: elaborar las bitácoras semanales y realizar los informes finales.

2.2. Personal que cumplirá los Roles

Tabla 3: Organización del personal

Rol	Responsable
Jefe de proyecto	Javier Echeverria
Programador	Juan-Daniel Castillo
Ensamblador	Alexander Pinto
Documentador	José Terrazas



2.3. Mecanismos de comunicación

Los principales medios de comunicación que utilizaremos son los siguientes:

- **WhatsApp:** Mensajería y coordinación rápida entre los integrantes del grupo
- **Discord:** Para realizar reuniones personales y grupales, aprovechando sus canales de voz y texto para una mejor organización y comunicación en tiempo real.
- **Reuniones presenciales:** Útiles para una comunicación más directa que aprovecharemos para tomar decisiones, registrar avances y ajustar el progreso del proyecto.

3. Planificación del proyecto

La planificación del proyecto es una parte fundamental para asegurar la correcta ejecución y cumplimiento de los objetivos. En esta sección se presenta como se planificó el proyecto por medio de objetivos específicos y los integrantes que son responsables de este, junto con que se busca realizar por medio de este mismo, además, se mostrará el cumplimiento de las actividades propuestas por medio de la carta Gantt.



3.1. Actividades

Tabla 4: Planificación de actividades

Nombre	Descripción	Responsables	Producto
Experimentación con el kit de LEGO	Se realiza la inducción al kit de LEGO	Todo el grupo.	Familiarización con la construcción y codificación del kit.
Identificación del problema	Analisis del panorama general.	Todo el grupo.	Comprender qué problema debe resolver el proyecto.
Objetivos del proyecto	Se definen objetivos generales y específicos.	Juan-Daniel Castillo.	Claridad sobre qué tareas realizar.
Investigación de modelos	Se buscan modelos útiles para	José Terrazas. Alexander Pinto.	Obtener referencias que sirvan de base para el desarrollo del prototipo.
Construcción del prototipo	Se construye la base y brazo del prototipo	José Terrazas.	Ensamblar las piezas del kit y asegurar la estabilidad del modelo y diseño del prototipo de manera eficiente.
Pruebas con el código	Se experimenta con el uso de motores	Javier Echeverria. Juan-Daniel Castillo	Probar y optimizar el código para lograr un funcionamiento correcto del prototipo.



Tabla 3: Planificación de actividades (Continuación)

Nombre	Descripción	Responsables	Producto
Construcción del prototipo	Se construye la garra	Alexander Pinto.	Establecer la estructura base sobre la cual se desarrollarán las siguientes etapas del prototipo .
Ensamblado del prototipo	Se unen las partes construidas para tener el prototipo funcional	José Terrazas.	Asegurar que todas las piezas estén correctamente conectadas y que el sistema funcione de manera estable.
Codificación de movimientos	Se codifican los movimientos del brazo y garra	Javier Echeverria.	Desarrollar la lógica programando las acciones planificadas.
Pruebas iniciales	Pruebas para corregir y ajustar el funcionamiento del robot	Todo el grupo.	Detectar posibles fallas y realizar ajustes en la programación o en el prototipo.
Bitácoras semanales	Registro de avance, problemas, solucionar y tareas a realizar.	Juan-Daniel Castillo	Tener un seguimiento claro del progreso del proyecto.



3.2. Carta Gantt

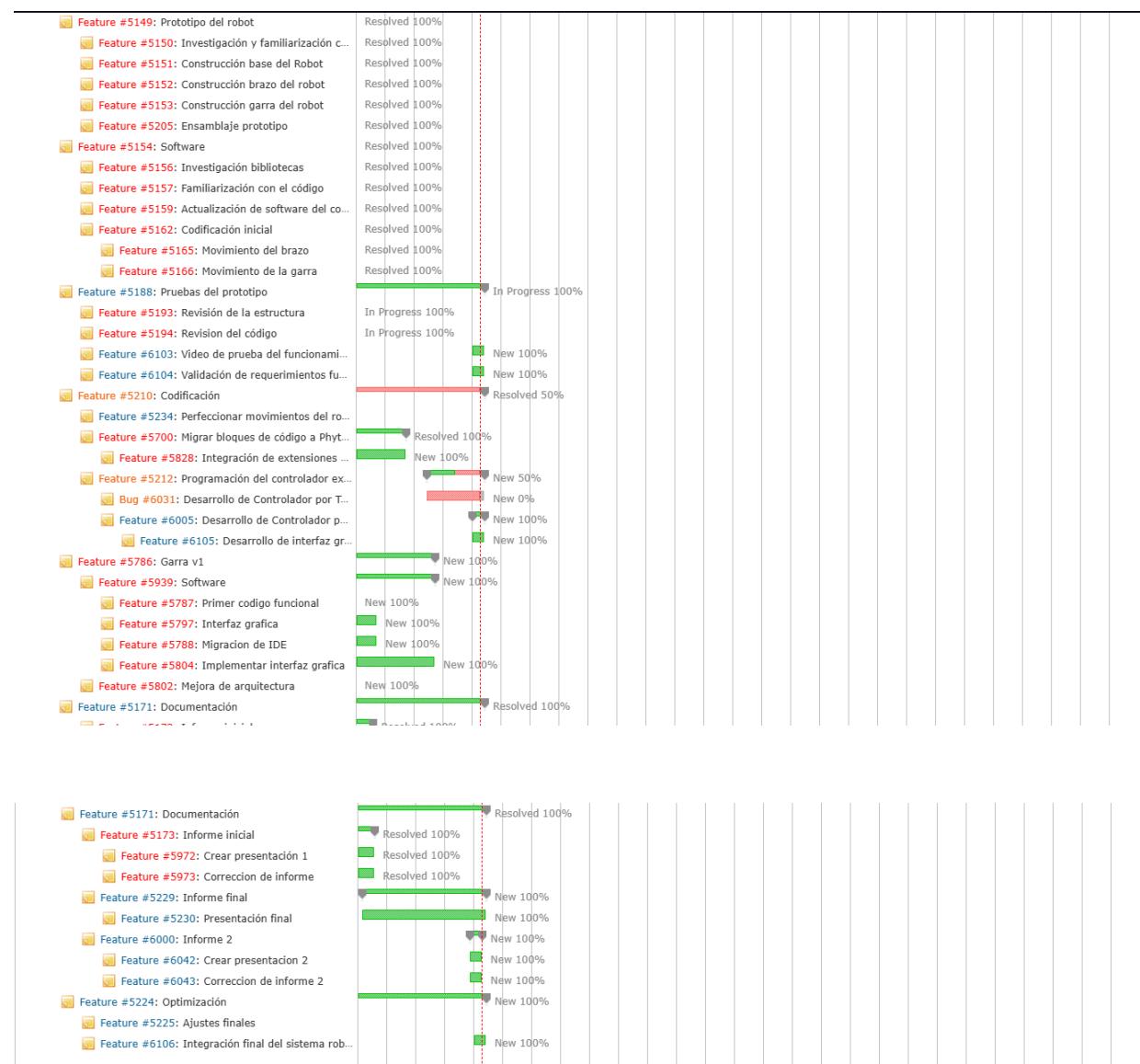


Figura 1: Carta Gantt



3.3. Gestión de Riesgos

A continuación, se expondrá una tabla que desglosa los problemas que se han presentado en esta primera fase del proyecto. La tabla será un resumen del impacto de los desafíos que estarán clasificados en cinco niveles distintos. Cada nivel será asociado al tipo de daño.

- 1. Daño catastrófico:** Las medidas que se tomarán en este caso serán de manera inmediata, puede provocar que el proyecto se detenga y retrase de forma considerable, teniendo que empezar desde cero.
- 2. Daño crítico:** Se necesita tomar medidas que resuelvan el riesgo, puesto que puede producir retrasos en varias fases del proyecto.
- 3. Daño circunstancial:** El riesgo, amerita que se solucione de inmediato, debido a que puede perjudicar en el desarrollo en una etapa base del proyecto.
- 4. Daño irrelevante:** El problema no es esencial, puede ser una situación imprevista que puede solucionarse en cualquier momento.
- 5. Daño recurrente:** El riesgo no es significativo, simplemente es reiterativo, puede retrasar en algunas tareas, pero no en etapas.



Tabla 5: Riesgos del proyecto

Riesgos	Nivel de impacto	Acción remedial
Abandono de personal	1	Reestructurar la gestión de tareas y recortar labores con menor importancia, para no sacrificar la eficacia del proyecto.
Pérdida de robot	1	Comprar un nuevo kit de lego spike prime con el dinero en conjunto del grupo y poner una nueva custodia al robot.
Atraso en el cumplimiento de tareas	2	Instaurar límites de tiempo y organizar las tareas parecidas para mejorar la eficiencia y reajustar los horarios para encontrar mayor tiempo en los encargos críticos en caso de atraso.
Ausencia repentina por fuerza mayor	2	Llenar ese rol con un integrante que tenga las capacidades que se requieren o retrasar tareas que se puedan postergar.
Rotura de piezas	3	Solicitar un reemplazo de las piezas rotas o comprar nuevas.
Inestabilidad del diseño del robot	3	Investigar un prototipo de mayor estabilidad o hacerle ajustes al mismo diseñado y repartir el peso a los puntos que provocan las inestabilidad.
Fallo en la programación del robot	4	Depurar el código para enmendar el fallo.
Problemas con la señal de internet	5	Probar con otras señales de la universidad, cambiar a una conexión privada o por vía cable ethernet.



4. Planificación de los Recursos

Para el desarrollo adecuado del proyecto es fundamental identificar.

Estos recursos se dividen en tres categorías principales: hardware, software y costos estimados.

En primer lugar, el hardware corresponde a todos los componentes físicos utilizados para llevar a cabo las actividades, como los Set Lego SPIKE Prime y equipos de computación utilizados para la programación y el control del sistema.

En segundo lugar, el software incluye las herramientas digitales y plataformas requeridas para programar, gestionar y operar, abarcando desde entornos de desarrollo hasta aplicaciones específicas de LEGO y VS Code.

Finalmente, la estimación de costos permite proyectar el presupuesto necesario para adquirir estos recursos, ofreciendo una visión clara del gasto asociado al desarrollo del proyecto y facilitando una correcta planificación económica.

4.1 Hardware

- Set Lego SPIKE Prime.
- Expansión de lego SPIKE Prime.
- Computador con el sistema operativo necesario para poder programar las instrucciones para el robot.
- Mandos de ps4.

4.2 Software

- Licencia Microsoft Office .
- VS Code.
- Lego Mindstorms.
- Lego Spike.



4.3 Estimación de Costos

Tabla 6: Costo de hardware

Producto	Precio (CLP)
Set “LEGO EDUCATION: Juego Spike Prime	\$500.000
LEGO Education SPIKE Prime Expansion	\$460.000
Notebook Samsung Essential Windows 11	\$500.000
Notebook Lenovo ThinkPad T14	\$320.000
Notebook HP 15-fc0004la AMD Ryzen 3 8GB 512GB SSD 15,6"	\$349.999
Mandos de PS4	\$60.000
Precio total	\$2.189.999

Tabla 7: Costo de software

Producto	Precio (CLP)
Licencia Microsoft Office	\$10.000
Precio total	\$10.000



Tabla 8: Costo de personal de trabajo

Rol	Horas	Horas extra	Precio/Hora (CLP)
Jefe de proyecto	63 horas	19 horas	\$50.000
Programador	63 horas	25 horas	\$40.000
Ensamblador	63 horas	15 horas	\$20.000
Documentador	63 horas	22 horas	\$30.000
Total :	-	-	\$11.730.000

La contabilización de horas comienza cuando se forma el grupo de trabajo, considerando como fecha de inicio el 09-09-2025. Las horas se registran según el tiempo dedicado en clases, mientras que las horas extras corresponden al trabajo realizado fuera del horario de clases dentro del mismo departamento de informática.

Tabla 9: Costos totales

Total de costos (CLP)	
Costo Hardware	\$2.189.999
Costo Software	\$10.000
Costo Empleados	\$11.730.000
Total	\$13.929.999



5. Análisis y diseño

5.1. Especificación de requerimientos

Para definir los requerimientos de la garra se tuvo en cuenta como problema a solucionar: “La falta de automatización en el proceso de carga de materiales”. El cliente interesado en financiar la implementación, son las empresas mineras y el usuario, encargado de utilizar el prototipo en faena, los trabajadores.

5.1.1. Requerimientos funcionales

- El robot debe poder cerrar y abrir su garra.
- El robot debe poder ajustar la altura de su brazo.
- El robot debe poder mover su garra horizontalmente.
- El robot debe poder recoger un bloque de lego determinado usando su garra.
- El robot debe dejar este mismo bloque de lego en una base o plataforma de carga.
- El usuario debe poder controlar todos los movimientos del robot y finalizar su funcionamiento, a través de la interfaz gráfica.
- El sistema debe validar las entradas del usuario y notificar cualquier error, mediante la interfaz gráfica o el robot.

5.1.2. Requerimientos no funcionales

Con el fin de asegurar que el sistema cumpla con criterios de calidad y rendimiento se establecieron los siguientes requerimientos no funcionales:

- El robot debe poder funcionar de manera continua durante al menos una hora.
- La latencia máxima entre la acción del usuario y el movimiento debe ser como máximo de 1000 ms.
- La estructura del robot debe mantenerse estable durante los movimientos.
- La interfaz gráfica debe ser intuitiva y fácil de usar, permitiendo al usuario identificar de forma autónoma como conectarse al robot y seleccionar el modo de control en al menos 5 minutos.



- La interfaz gráfica debe soportar conexión remota con Bluetooth.
- Los movimientos deben poder ser controlados, mediante teclado o mando.

5.2. Arquitectura de software

El sistema de software encargado del control de los movimientos del prototipo, se compone por la interfaz gráfica, el cliente, Bluetooth, el hub de Lego, la garra robótica y el mando.

El flujo que sigue el sistema es:

1. Interfaz gráfica: Recibe y válida las entradas del usuario.
2. Cliente: El computador cumple este rol, se encarga de procesar las entradas de la interfaz gráfica para conectarse y enviar el código de pybricks hacia el servidor.
3. Bluetooth: Es el canal de comunicación, por el que se envía el código de pybricks desde el cliente al servidor.
4. Servidor: El hub de lego cumple este rol. Procesa el programa recibido, en el cual se conectarán al mando para recibir y procesar las entradas de este, convirtiéndolas en movimientos físicos de la garra.
5. Mando: Es el control de Xbox, este al conectarse enviará comandos para controlar la garra
6. Garra robótica: Realiza los movimientos físicos indicados por el servidor.

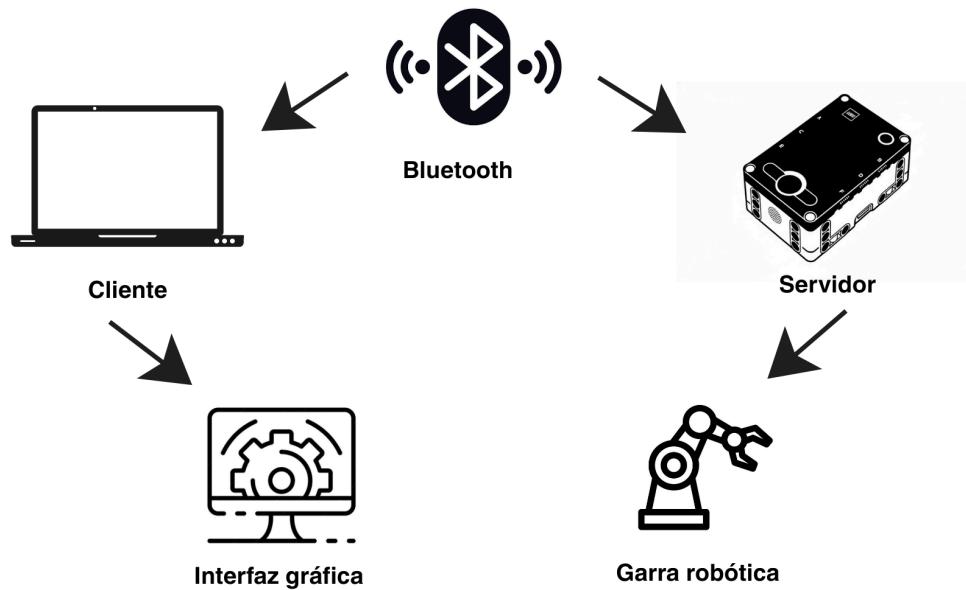


Figura 2: Diagrama Cliente-Servidor

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

Para esta etapa se desarrollaron bocetos de baja fidelidad con el objetivo de definir la estructura básica de la pantalla principal de la aplicación *CLAW-TY*. Estos bocetos iniciales permiten visualizar la organización general de los elementos sin centrarse aún en colores, tipografías ni detalles estéticos.

Un diseño de baja fidelidad utiliza únicamente formas simples como rectángulos, círculos y texto básico para representar botones, títulos o áreas de contenido. Este enfoque facilita evaluar la disposición de los componentes y comparar posibles alternativas antes del diseño final.

Para su elaboración se empleó un editor digital llamado canva, y se generaron cuatro propuestas distintas, cada una explorando un estilo diferente pero manteniendo la



misma estructura funcional. La pantalla diseñada corresponde al menú de bienvenida de la aplicación, donde el usuario selecciona el modo de control: Teclado o Mando.

5.3.1 Bocetos de pantalla de inicio

5.3.1.1. Boceto 1 Diseño minimalista y claro

1. Fondo limpio y sin detalles para resaltar los botones.
2. Título “CLAW-TY” centrado en la parte superior.
3. Subtítulo “BIENVENIDO” debajo del título.
4. Dos botones principales (“TECLADO” y “MANDO”) ubicados de forma simétrica.
5. Enfoque en simplicidad y legibilidad.



Figura 3: Pantalla de inicio boceto 1

5.3.1.2. Boceto 2 — Variación con textura ligera

1. Mantiene la misma estructura funcional del primer boceto.
2. Se incluye un fondo con textura suave para dar profundidad.
3. Los botones y el texto continúan siendo simples, priorizando la claridad.
4. Permite evaluar una interfaz más visual sin perder funcionalidad.



Figura 4: Pantalla de inicio boceto 2

5.3.1.3. Boceto 3 — Estilo oscuro con alto contraste

1. Fondo negro o gris oscuro para aumentar el contraste visual.
2. Colores llamativos (por ejemplo, verde) para el título y los botones.
3. Proporciona una opción más moderna y orientada a videojuegos.
4. Sigue siendo un wireframe, ya que solo se representan las posiciones básicas de los elementos.



Figura 5: Pantalla de inicio boceto 3



5.3.1.4 Boceto 4 — Variante oscura con distribución más definida

1. Misma línea visual del boceto 3, pero ajustando proporciones, espaciado y forma de los botones.
2. Revisión del estilo para evaluar cuál de las dos versiones oscuras funciona mejor.
3. Explora equilibrio entre estética y legibilidad.



Figura 6: Pantalla de inicio boceto 4

5.3.1.5 Conclusión del diseño final interfaz de inicio

Luego de analizar las cuatro propuestas de wireframes de baja fidelidad, se decidió adoptar como base el segundo diseño. Este boceto mantiene una estructura simple y clara, pero incorpora una textura de fondo ligera que aporta mayor profundidad visual sin afectar la legibilidad ni distraer al usuario.

El segundo diseño logró un equilibrio adecuado entre simplicidad y estética, ofreciendo una interfaz limpia pero con suficiente personalidad para diferenciar la aplicación. Además, los botones y el título se mantienen bien organizados y fácilmente identificables, lo que facilita la navegación desde la primera interacción del usuario.



Por estos motivos, el equipo concluyó que el segundo boceto es el más adecuado para continuar con el desarrollo del diseño de alta fidelidad y la implementación final de la GUI.

5.3.2 Diseño del controlador por teclado

Para la sección correspondiente al modo de control mediante teclado, se desarrolló un boceto inicial de baja fidelidad con el objetivo de definir la distribución de las teclas asociadas al movimiento del brazo robótico. A diferencia de la pantalla de inicio que requirió cuatro versiones exploratorias, por lo tanto en este caso se generó un único boceto, ya que desde el primer planteamiento se logró una organización clara, funcional y fácil de interpretar para el usuario.

El diseño básico representó únicamente la posición de las teclas y los grupos de controles, sin emplear colores, efectos ni detalles estéticos. El diseño se organizó en torno a cuatro secciones principales: Base, Brazo, Codo, Garra, además del botón de Stop, distribuidos de forma que el usuario pudiera identificar rápidamente qué tecla corresponde a cada acción del robot.



Figura 7: Boceto pantalla de control por teclado



La simplicidad del boceto permitió visualizar de inmediato la lógica del control, lo que facilitó su selección como propuesta principal. No obstante, al avanzar en el desarrollo de la interfaz general de CLAW-TY, se consideró necesario actualizar este diseño para mantener una línea estética coherente con el estilo visual escogido para la pantalla de inicio (el segundo boceto).

En esta actualización se incorporaron elementos como:

1. Un fondo con textura similar al diseño final del menú de bienvenida.
2. Botones estilizados con bordes más suaves y colores consistentes con la identidad visual del proyecto.
3. Tipografía mejorada para reforzar la legibilidad.
4. Distribución más equilibrada para lograr una interfaz visualmente unificada.

Estas mejoras permitieron que la interfaz del controlador conservará su estructura funcional original, pero adoptará un aspecto más profesional y coherente dentro del conjunto de pantallas de la aplicación.

5.3.3 Conclusión del diseño del controlador por teclado

El diseño del controlador por teclado evolucionó de un boceto inicial sencillo pero funcional hacia una versión visualmente más pulida y coherente con la identidad gráfica de la aplicación CLAW-TY. Aunque la primera propuesta definió de manera efectiva la distribución y lógica de los controles, su actualización fue fundamental para garantizar una experiencia uniforme en todas las pantallas del proyecto.

La integración de elementos visuales consistentes como el estilo de botones, la tipografía y la textura del fondo permitió mantener la claridad del diseño original, pero aportando una presentación más profesional y armonizada con la interfaz de inicio. De esta manera, el controlador conserva su facilidad de uso y comprensión inmediata, a la vez que se adapta al estilo final de la aplicación.

En conjunto, este proceso aseguró que el controlador por teclado no solo cumpliera con los requisitos funcionales, sino que también contribuye a una experiencia de usuario coherente e intuitiva dentro de CLAW-TY.



6. Implementación

6.1. Fundamentos de los movimientos

Para que el robot lleve a cabo correctamente sus funciones, los principios físicos que debemos tener en cuenta principalmente son la fuerza y torque que debe realizar el brazo para poder acelerar y mover un objeto, en este caso bloques de lego de forma eficaz y segura, además del peso máximo de carga de la garra en base a la fuerza y fricción que esta genera sobre el bloque. Para estos cálculos se ignora el peso de las partes que conforman el robot, en otras palabras, la fuerza extra a la que debe realizar para moverse.

Velocidad y aceleración:

Para calcular la fuerza primero se necesita determinar el largo del brazo desde el punto de pivote, se aproxima un largo de $r = 20(\text{cm}) = 0,2(\text{m})$, además una velocidad deseada de movimiento y el tiempo en el que quiere acelerar a este. Tomando que se quiere dar un cuarto de vuelta cada segundo se obtiene una velocidad de $v = 0,3125(\text{m/s})$. Tomando que se quiere llegar a esta velocidad en 0,2 segundos, se concluye una aceleración $a = 1,5625 (\text{m/s}^2)$.

Fuerza y torque:

con los datos $r = 0,2(\text{m})$, $v = 0,3125(\text{m/s})$ y $a = 1,5625 (\text{m/s}^2)$, podemos calcular la fuerza como $F = m*a$, y el torque como $T = F*r = m*a*r = 1,5625 * 0,2 * m = 0,3125 * m(\text{N})$. Obteniendo así que para que el brazo acelere desde el reposo a $\frac{1}{4}$ de vuelta por segundo, debe ejercer $0,3125*m(\text{N})$.

Fricción y fuerza de garra:

En este caso se usará el coeficiente de fricción entre goma y UHMW, el cual es 0,56, ya que el UHMW tiene una fricción menor que un plástico normal, se tomará un coeficiente de fricción de 0,6. Junto a esto se usará el siguiente diagrama como referencia:

Con m siendo el bloque de masa m y su peso mg , los rectángulos laterales representando las garras, cada uno con fricción u y ejerciendo una fuerza F_g y causando las fuerzas de fricción estáticas f_e , finalmente con una aceleración del sistema a . Cabe aclarar que como el bloque no se desliza de las garras, la fricción es estática.

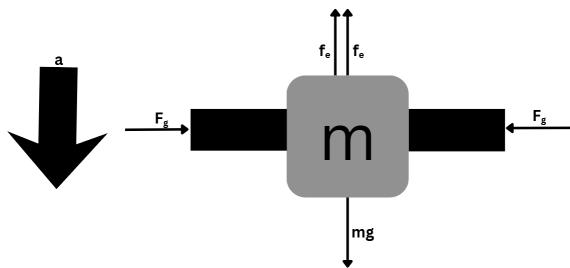


Figura 8: Diagrama de cuerpo libre

Sabemos que la suma de las fuerzas es $\Sigma F = ma$, si sumamos las fuerzas verticales quedamos con que $mg - 2f_e = ma$, despejando f_e tenemos: $f_e = m(g-a)/2$. También se sabe que la fuerza de fricción estática $f_e \leq N_u$, ya que la única fuerza que afecta a las garras son estas mismas, y asumiendo que las dos son simétricas, $N = F_g$, o sea que $f_e \leq F_g$, reemplazando f_e y despejando para la masa: $m \leq 2F_g/a$. obteniendo que $m \leq 0,78F_g$. Con esto concluimos que la masa máxima que debe tener un bloque para que este no se caiga es de 0,78 veces la fuerza que ejerce una pata de la garra, o sea 0,39 veces la fuerza de la garra completa.

6.2. Descripción del sistema

En esta sección se presentarán los componentes del software utilizado para implementar la garra robótica.

El enlace para acceder al repositorio es : [github/Garra-Sp-11](https://github.com/rodrigocarmona/Garra-Sp-11)

6.2.1. Cliente

En la figura 9 se muestra la función que permite conectarse y desconectarse del Hub por medio de comandos, además de enviar el programa para que el Hub pueda ejecutarlo.



```
import asyncio
from codigo_servidor1 import conectar_hub, enviar_programa

async def comandos_hub():
    hub = await conectar_hub()
    if not hub:
        return

    while True:
        tecla = input("Comando: ").strip().lower()

        if tecla == "p":
            print("Conexión finalizada")
            break
        elif tecla == "a":
            await enviar_programa(hub)

    await hub.disconnect()

if __name__ == "__main__":
    asyncio.run(comandos_hub())
```

Figura 9: Código cliente



6.2.2. Comunicación con servidor

En la siguiente imagen se puede observar la función enviar_programa, esta a través de un String (programa_hub) genera un archivo python, que se le envía como parámetro a la función run para que el hub lo ejecute. Luego de enviar el programa este queda subido en el hub y se borra el archivo temporal.

También se observa la función conectar_hub, esta utiliza la función de pybricksdev find_device para buscar un hub llamado “Sp-11”, en el caso de que se encuentre se crea un objeto pybricksHubBLE que representara el hub en el código y se establece la conexión ejecutando la función connect.

```
async def enviar_programa(hub):
    programa_hub = generar_programa_hub()

    with tempfile.NamedTemporaryFile(delete=False, suffix=".py") as f:
        f.write(programa_hub.encode("utf-8"))
        ruta = f.name

    await hub.run(ruta)
    os.remove(ruta)

async def conectar_hub():
    dispositivo_ble = await find_device(name="Sp-11")
    if not dispositivo_ble:
        print("No se pudo encontrar al Hub Sp-11")
        return None

    hub = PybricksHubBLE(dispositivo_ble)
    await hub.connect()
    print("Conexión al hub completa")
    return hub
```

Figura 10: Código cliente 2



6.2.3. Servidor

En la figura N se observa la función generar_programa_hub, la cual está encargada de generar el String que contiene el programa que utiliza el hub para controlar los motores del robot.

En este se definen los puertos a los que está conectado cada motor, la velocidad a la que se moverán, y que entradas del mando de Xbox se utilizaran.

```
def generar_programa_hub() -> str:
    programa_hub = """
from pybricks.hubs import PrimeHub
from pybricks.pupdevices import Motor
from pybricks.parameters import Port
from pybricks.iodevices import XboxController
from pybricks.tools import wait
from pybricks.parameters import Button

hub = PrimeHub()

base = Motor(Port.A)
codo = Motor(Port.E)
brazo = Motor(Port.D)
garra = Motor(Port.C)

V_BASE = 200
V_BRAZO = 200
V_CODO = 150
V_GARRA = 120

controller = XboxController()
DEADZONE = 5

def deadzone(v):
    return v if abs(v) > DEADZONE else 0

while True:
    lx, ly = controller.joystick_left()
    rx, ry = controller.joystick_right()
    rt, lt = controller.triggers()

    base.run(-deadzone(lx) * V_BASE // 100)
    brazo.run(-deadzone(ly) * V_BRAZO // 100)
    codo.run(deadzone(ry) * V_CODO // 100)

    if rt:
        garra.run(V_GARRA)
    elif lt:
        garra.run(-V_GARRA)
    else:
        garra.stop()

    if Button.GUIDE in controller.buttons.pressed():
        hub.system.shutdown()

    wait(10)

"""
    return programa_hub
```

Figura 11.1 y 11.2: Código servidor



6.2.4. Interfaz gráfica de usuario (GUI)

CLAW-TYLD

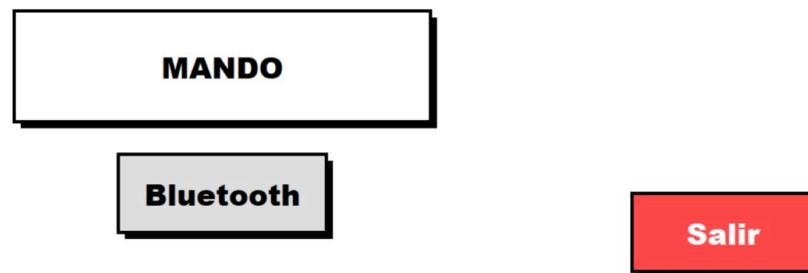


Figura 12: Pantalla de inicio

La pantalla de inicio constituye el punto de entrada principal a la aplicación CLAW-TY. Su diseño mantiene una interfaz limpia y minimalista, con fondo claro y componentes centrados, facilitando la comprensión inmediata de las opciones disponibles por parte del usuario.

Componentes y funciones

1. Título principal “CLAW-TY”

Ubicado en la parte superior de la pantalla, identifica claramente la aplicación y refuerza su identidad visual. El uso de tipografía en mayúsculas y de gran tamaño permite una rápida identificación.

2. Botón “MANDO”

Botón central de gran tamaño que permite acceder al modo de control mediante un mando físico. Al seleccionarlo, el sistema dirige al usuario a la pantalla de configuración y uso del controlador por mando, donde se visualiza la distribución de los controles asignados.



3. Indicador “Bluetooth”

Situado debajo del botón “MANDO”, informa al usuario que la conexión con el brazo robótico se realiza mediante tecnología Bluetooth, reforzando la comprensión del método de comunicación utilizado.

4. Botón “SALIR”

Ubicado en la esquina inferior derecha, se distingue por su color rojo, destacando su función crítica. Al presionarlo, la aplicación se cierra completamente. Su ubicación minimiza pulsaciones accidentales y sigue convenciones estándar de diseño de interfaces.

6.2.4.1 Pantalla del Controlador por Mando

CONTROLES MANDO



VOLVER

Figura 13: Pantalla controlador por mando

Esta pantalla se muestra cuando el usuario selecciona la opción “MANDO” desde el menú principal. Su objetivo es presentar de forma clara e intuitiva la asignación de controles del mando físico para manipular el brazo robótico CLAW-TY.



Componentes y funciones

1. Título “CONTROLES – MANDO”

Ubicado en la parte superior de la pantalla, indica de manera explícita que el control del sistema se realiza mediante un mando físico. La jerarquía visual permite identificar rápidamente el propósito de la interfaz.

2. Ilustración del mando

Se presenta una imagen central del mando, acompañada de flechas y rótulos explicativos que indican la función de cada botón o joystick. Este enfoque visual facilita la comprensión inmediata sin necesidad de instrucciones extensas.

○ Asignación de controles

▪ Base

Controlada mediante el joystick izquierdo (movimiento horizontal).

Permite el giro de la base del brazo robótico hacia la izquierda o derecha.

▪ Brazo

Controlada mediante el joystick izquierdo (movimiento vertical).

Permite subir o bajar el brazo principal del robot.

▪ Codo

Controlada mediante el joystick derecho (movimiento vertical).

Permite elevar o descender la articulación intermedia del brazo.

▪ Garra

Controlada mediante los botones del mando:

1. Abrir: botón asignado para la apertura de la garra.

2. Cerrar: botón asignado para el cierre de la garra.

3. Esta separación funcional permite un control preciso de la pinza robótica.

4. Botón “Desconectar”

Ubicado en la parte superior del mando, permite finalizar la conexión Bluetooth de forma segura. Su función es esencial para evitar movimientos no deseados o conexiones activas innecesarias.



5. Botón “VOLVER”

Situado en la esquina inferior izquierda de la pantalla, permite regresar al menú principal sin cerrar la aplicación. Su color rojo mantiene coherencia visual con el botón “SALIR”, pero su ubicación y rotulación eviten confusión.

7. Resultados

7.1. Estado actual del proyecto

De acuerdo al seguimiento de las bitácoras semanales, se logró el desarrollo de la máquina de garra usando el kit de LEGO SPIKE PRIME, cumpliendo los objetivos que se tenía en la primera etapa.

En la primera fase, se definieron los objetivos del proyecto, las bibliotecas necesarias para la codificación del sistema y se realizó el prototipo inicial de la garra, logrando que el robot cumpla con todos los requerimientos como una estructura sólida y funcional capaz de realizar todos los movimientos necesarios.

Durante la siguiente etapa, se realizaron pruebas del funcionamiento de la estructura, usando el código para corroborar si se encontraba alguna deficiencia en el robot. Se comprobó el estado de los movimientos de la garra, el agarre y la estabilidad del sistema, las cuales sirvieron para realizar ajustes sucesivos en el diseño físico y en la programación, además de las actualizaciones de la carta Gantt y del informe del proyecto.

Posteriormente, en una etapa más avanzada, se migró el código de bloques a Python, para mejorar la flexibilidad y control sobre el comportamiento del robot, siguiendo con la investigación del diseño gráfico, que actualmente se encuentra terminada.

En cuanto al control del robot, se logró establecer exitosamente la conexión por bluetooth. Inicialmente, se tenía planeado implementar un controlador por teclado, sin embargo, la alternativa fue descartada por limitaciones técnicas del entorno de desarrollo. Como resultado, el sistema fue orientado al control por un mando de Xbox, el cual se encuentra funcionando actualmente y en proceso de optimización, mejorando la fluidez y precisión de los movimientos.

En síntesis, el proyecto cuenta con una estructura mecánica operativa, movimientos funcionales y conexión inalámbrica estable. El diseño de la interfaz gráfica está finalizado y orientado al control por mando, lo que permite proyectar mejoras futuras en la visualización y gestión del sistema.



7.1.2 Relación con los requerimientos funcionales

En relación con los requerimientos funcionales en la etapa de especificación, se puede apreciar que el robot cumple con la apertura y cierre de la garra, el ajuste de la altura del brazo y el desplazamiento horizontal de la garra. Asimismo, el sistema del robot es capaz de recoger un bloque de lego y desplazarlo hasta una base o plataforma de carga; por lo cual, cumple con los requerimientos relacionados a la manipulación de materiales.

Respecto al control del sistema, el usuario cuenta con la opción de poder controlar los movimientos del robot mediante un mando de Xbox, la cual se encuentra integrado al sistema correctamente a través de una conexión inalámbrica por bluetooth. Siendo este el método de control definido como solución final del proyecto, lo que permite la ejecución de los movimientos de forma estable y precisa.

En relación a la interfaz gráfica, se desarrolló y definió su diseño con el objetivo de facilitar la interacción del usuario con el sistema, especialmente en gestión de la conexión y el control por medio del mando. Sin embargo, el control directo del control directo de los movimientos del robot se realiza por medio del mando, mientras que la interfaz gráfica cumple un rol más complementario.

Finalmente, en cuanto a la validación de las entradas y las notificaciones de errores, el sistema cuenta con una retroalimentación visual en la interfaz gráfica, donde el botón del estado de conexión bluetooth cambia de color, indicando si la conexión fue exitosa o hubo un fallo en la conexión. No obstante, el sistema no cuenta con mensajes textuales de advertencias adicionales para otros tipos de errores del sistema.

De modo que los requerimientos funcionales relacionados a la estructura mecánica, los movimientos del brazo y el control operativo del robot se encuentran cumplidos, ya que el sistema cuenta con un controlador estable mediante un mando de Xbox. Por otro lado, los requerimientos relacionados a las validaciones avanzadas de las entradas por notificaciones en la interfaz, presentan un cumplimiento parcial, ya que solo se dispone de una retroalimentación básica del estado de la conexión Bluetooth.

7.2. Problemas encontrados y solucionados

Durante el desarrollo del proyecto se identificaron varios problemas técnicos y organizativos, los cuales se registraron en las bitácoras semanales. A continuación, se describen los problemas más importantes junto con las soluciones aplicadas o en el proceso de implementación.

El primer problema enfrentado fue la dificultad para programar correctamente el movimiento y el agarre del robot, especialmente en la coordinación de los motores. Para solucionar este problema se tuvo que realizar investigaciones sobre el funcionamiento de los motores del kit LEGO SPIKE PRIME, donde se tuvo que llevar a



cabo varias versiones de código para entender su comportamiento y así mejorar el control del sistema.

En las etapas iniciales, también se encontraban fallos en la estructura del robot, las cuales estaban afectando la estabilidad general. El problema fue solucionado revisando las instrucciones de su construcción, así mismo, también se identificó que el software de LEGO SPIKE se encontraba desactualizado y se tuvo que actualizar para garantizar la compatibilidad con el hardware.

Durante las pruebas de los movimientos que se le realizaba al robot, también se evidenció que la potencia ejercita a los motores, desprendía algunas piezas del robot, por lo cual se tuvo que regular la potencia desde el código para mantener un movimiento más controlado seguro.

Relacionado al software, se presentaron limitaciones con el entorno de LEGO, ya que el entorno de LEGO Mindstorm, utiliza una versión limitada de MicroPython, lo que restringe algunas funcionalidades para el control de dispositivos externos. Además, surgieron dificultades

al intentar programar los movimientos del robot mediante teclado y al ejecutar el código de Visual Studio Code, debido a que no se reconocía los motores y fallaba la conexión de las terminales del robot.

Otro de los problemas encontrados fue que los movimientos del robot solo respondiera cuando el botón se encontrara presionado, para limitar los movimientos y evitar los errores estructurales. Este problema aún se encuentra vigente y se está realizando ajustes iterativos con versiones de código.

Adicionalmente, también se evalúo la posibilidad de controlar el movimiento del robot mediante entradas por teclado desde el computador. Sin embargo, esta idea no pudo concretarse debido a limitaciones del entorno de desarrollo, ya que no existe un mecanismo directo y estable para enviar eventos del teclado al hub de LEGO SPIKE PRIME. Por lo cual, impidió la comunicación confiable con el teclado y el robot, provocando que se llegue a la solución de implementar el control mediante un mando de Xbox, la cual permite una lectura directa de las entradas, una conexión bluetooth estable y un control más preciso de los movimientos, convirtiéndose en la solución definitiva para el proyecto.

Finalmente, se encontraron problemas para integrar la interfaz gráfica, tanto en el control de los movimientos como el diseño visual utilizando la biblioteca de Tkinter. Si bien el desarrollo del diseño visual de la interfaz fue desarrollado y completado satisfactoriamente, no fue posible implementar el control de los motores directamente desde la interfaz debido a limitaciones en la comunicación con el hub. Como solución, se definió que la interfaz gráfica cumpla un rol complementario, enfocándose en la gestión de la conexión Bluetooth y el acceso al control mediante el mando de Xbox, el cual se encuentra totalmente funcional y operativo.



7.2.1 Relación de los problemas con riegos del proyecto

Las dificultades en la programación del robot y las limitaciones del entorno, basado en MicroPhyton, que se relacionan con el riesgo de fallos en la programación del sistema, lo que podría impedir los requerimientos funcionales. Por lo cual, para mitigar ese riesgo, se tuvo que realizar procesos de depuración del código, pruebas iterativas y una migración progresiva hacia soluciones más estables, como el control por medio de mando.

Por otra parte, los atrasos que se tuvo en el cumplimiento de tareas o algunas ausencia de integrantes por fuerzas mayores, las cuales fueron mitigadas por una reorganización de tareas, redistribución de roles y ajustes en la planificación del trabajo, además también como problemas externos como la conectividad a internet, también representaron un riesgo operativo, el cual se tuvo que solucionar con conexiones alternativas para asegurar la conectividad del desarrollo.

En sí, las acciones remediales aplicadas lograron reducir el impacto de los riesgos críticos, ayudando a la continuidad del proyecto y el cumplimiento de los objetivos principales, a pesar de que algunas tareas, como la integración avanzada de la interfaz gráfica, quedaron definidas como trabajo futuro.

8. Prueba de funcionamiento del sistema

8.1 Descripción de la prueba de funcionamiento

Durante la ejecución de la prueba de funcionamiento se observó un desempeño correcto del sistema en todas las funcionalidades mínimas definidas.

En la primera etapa, la interfaz gráfica permite controlar el brazo robótico de manera estable y precisa. Los comandos enviados desde la GUI fueron recibidos correctamente, logrando el movimiento de la base, el brazo, el codo y la garra sin errores de comunicación.

En la segunda etapa, el brazo robótico logró manipular los objetos de forma adecuada. La garra pudo abrirse y cerrarse correctamente, permitiendo tomar los bloques que representan el material minero, levantar el brazo y trasladarlos exitosamente hacia el vehículo transportador.

En la tercera etapa, el sistema demostró la capacidad de descargar el material desde el vehículo y transferirlo al clasificador por colores. El brazo robótico logró tomar los objetos desde el vehículo y posicionarlos correctamente en el separador, completando el proceso de transporte y clasificación.



8.2 Resultados observados para la prueba de funcionamiento

Para llevar a cabo la prueba de funcionamiento, se utilizó la interfaz gráfica de usuario (GUI) desarrollada para el proyecto, la cual actúa como medio de comunicación entre el computador y el hub del brazo robótico. Desde la interfaz, el operador envía las acciones correspondientes, las cuales llaman a las funciones encargadas de establecer la conexión con el hub y de enviarle el programa que contiene la secuencia de movimientos definidos.

Durante la ejecución de la prueba, el robot funcionó de manera óptima, cumpliendo con las funcionalidades mínimas exigidas. La GUI permitió operar el brazo robótico de forma correcta, enviando las acciones necesarias para controlar los movimientos del brazo y de la garra. Una vez recibido el programa, el hub se encargó de ejecutar de manera autónoma todos los movimientos definidos, sin presentar fallas ni interrupciones.

En cuanto a los resultados, el brazo robótico logró completar correctamente la prueba definida: fue capaz de manipular los objetos según lo solicitado, transportarlos y ejecutar las acciones correspondientes de forma precisa. La demostración realizada evidencia claramente el funcionamiento continuo del robot durante toda la prueba, el uso adecuado de la interfaz gráfica para operar el sistema y el cumplimiento de los objetivos funcionales del proyecto.



9. Conclusión

En síntesis con todo lo mencionado anteriormente, se logró planificar, diseñar y construir una máquina de garra robótica orientada a la simulación de movimientos básicos a tareas del ámbito minero. Para ello se utilizó el kit de LEGO SPIKE PRIME como plataforma principal.

El sistema desarrollado cuenta con una estructura capaz de realizar movimientos verticales y horizontales, junto con un mecanismo de agarre que cumple con los requerimientos iniciales del proyecto. Asimismo, se avanzó con el desarrollo del software, migrando la programación de bloques a Python, también se estableció la conexión inalámbrica por bluetooth y se concretó el control del robot por medio de un mando de Xbox, el cual fue la solución final para la operación del sistema, lo que permite ser más preciso y confiable en los movimientos.

Para llegar a estos resultados, se necesitó un proceso de análisis, pruebas y ajustes, donde se identificaron problemas técnicos, relacionados con la programación de los motores, la estabilidad de la estructura del robot, la compatibilidad del software y las limitaciones que entrega el entorno de programación LEGO. Estas dificultades, fueron abordadas por medio de una investigación, pruebas iterativas, revisión de la estructura física y organización del trabajo en equipo.

A pesar de que la interfaz gráfica no se pudo implementar el control directo de los movimientos mediante teclado, su diseño se encuentra finalizado y se integró como un elemento complementario del sistema, lo que permite la gestión de la conexión Bluetooth y el acceso al control mediante mando. Siendo esta manera, que el proyecto cumple con los objetivos principales, dejando como proyección futura la ampliación de las funciones de la interfaz gráfica, además de la incorporación de mensajes de error más completos y la optimización avanzada de los movimientos para fortalecer la robustez, precisión, y utilidad del sistema como herramienta de simulación para el ámbito minero.

9.1. Reflexión sobre aprendizaje

El desarrollo de este proyecto nos ayudó a fortalecer conocimientos en áreas como robótica, programación en Python, control de motores, diseño de estructuras mecánicas y desarrollo de interfaces gráficas. Asimismo, se logró comprender la importancia de la planificación, la documentación de las bitácoras y la gestión de riesgos en proyectos.

En el ámbito grupal, el trabajo colaborativo y la distribución de los roles, al igual que las modificaciones, fueron fundamentales para enfrentar dificultades técnicas y mantener el avance en el proyecto. Además, la experiencia obtenida fue relevante para comprender problemáticas reales relacionadas a la automatización de procesos industriales, como lo es la minería.



10. Referencias

- [1] Banco Central de Chile. (2024). *Cuentas Nacionales: Participación sectorial del PIB. Base de Datos Estadísticos (BDE)* [\[link\]](#)
- [2] Ebay. (s.f.). *Página de compra de LEGO Education SPIKE Prime.* [\[link\]](#)
- [3] Líder. (s.f.). *Página de compra de LEGO Education SPIKE Prime Expansión.* [\[link\]](#)
- [4] Abc. (s.f.). *Página de compra de Notebook Samsung Essential Windows 11.* [\[link\]](https://www.abc.cl/notebook)
- [5] Tecnoboss. (s.f.). *Página de compra de Notebook Lenovo ThinkPad T14.* [\[link\]](https://tecnoboss.cl/notebook)
- [6] Abc. (s.f.). *Página de compra de Notebook HP 15-fc0004la AMD Ryzen 3 8GB 512GB SSD 15,6.* [\[link\]](https://tecnoboss.cl/notebook-lenovo-thinkpad)
- [7] Paris. (s.f.). *Página de compra de mandos PS4.* [\[link\]](https://www.paris.cl/control-ps4)
- [8] Softpro. (s.f.). *Página de compra de licencia Office 2024 Professional.* [\[link\]](https://softpro.cl/producto/office-2024-professional)