

UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ



FACULTAD DE INGENIERÍA

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



**Sorting Mining: Clasificador Remoto de
Minerales para la Optimización y Seguridad
en Minería.**

**Alumnos: Camilo Geraldo
Ignacio Cuevas
Maximiliano Burgos
Jose Quispe
Matias Sagredo**

Asignatura: Proyecto I

Profesor: Baris Nikolai Klobertanz Quiroz

Historial De Cambios

Fecha	Versión	Descripción	Autor(es)
27/09/2025	1.0	Concepción del Documento	Camilo Geraldo
03/10/2025	1.1	Bosquejo general del Informe y planteo de objetivos.	Camilo Geraldo Jose Quispe
08/10/2025	1.2	Corrección de la introducción y del objetivo general y específicos.	Jose Quispe
10/10/2025	1.3	Adición del robot en los entregables, cambio de nombres en el punto 2.2	Todos
13/10/2025	1.4	Corrección de la carta ganntt, cambio en el nivel de gestión de riesgos y de posibles riesgos	Matias Sagredo Camilo Geraldo
14/10/2025	1.5	Estimación de costos de los recursos de hardware	Ignacio Cuevas
15/10/2025	1.6	Cambio en las actividades del punto 3.1 y eliminación de la columna responsable del punto 2.2	Jose Quispe Ignacio Cuevas
17/10/2025	1.7	Redacción de la conclusión	Jose Quispe
24/11/2025	1.8	Corrección general del documento	Camilo Geraldo Ignacio Cuevas Maximiliano Burgos Jose Quispe Matias Sagredo

Tabla N°1. Historial de cambios.

Tabla de Contenidos

Historial De Cambios.....	1
Tabla de Contenidos.....	2
Índice de Tablas.....	3
1. Panel General.....	4
1.1. Introducción.....	4
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Restricciones.....	6
1.4. Entregables.....	6
2. Organización del Personal.....	7
2.1. Descripción de los Roles.....	7
2.2. Personal que Cumplirá los Roles.....	8
2.3. Métodos de Comunicación.....	8
3. Planificación del Proyecto.....	9
3.1. Actividades.....	9
3.2. Carta Gantt.....	11
3.3. Gestión de Riesgos.....	12
4. Planificación de los Recursos.....	13
4.1. Hardware.....	13
4.2. Software.....	13
4.3. Estimación de Costos.....	14
5. Conclusión.....	16
6. Referencias.....	17

Índice de Tablas

Tabla N°1. Historial de cambios.	1
Tabla N°2. Designación de roles para los integrantes del equipo.	9
Tabla N°3. Establecimiento de actividades para el desarrollo del proyecto.	11
Tabla N°4. Tipos de daño.	13
Tabla N°5. Riesgos posibles en el desarrollo del proyecto.	14
Tabla N°6. Costos de hardware.	15
Tabla N°7. Estimación del costo del trabajador.	16
Tabla N°8. Total de costos.	16

1. Panel General

1.1. Introducción

La industria minera en Chile representa uno de los pilares económicos más importantes del país, aportando más del 10% del PIB y generando empleo directo para 280 mil personas y unos 900 mil puestos laborales en total [10]. Al ser un área tan importante para el crecimiento y progreso del país, es crucial la implementación de tecnologías actuales para la optimización de los procesos de extracción, refinamiento y transporte de minerales.

Por lo que se refiere como Minería 4.0 a la transición de la minería tradicional hacia un modelo digitalizado y automatizado, impulsado por las tecnologías emergentes como el internet, la inteligencia artificial, la robótica, el Big Data y la realidad aumentada.

Un ejemplo de esta nueva minería, es la empresa minera Antofagasta Minerals [7][8], la cual, en colaboración con otras instituciones, innova en tecnologías para la teleoperación remota de maquinaria pesada o que conlleva un cierto grado de riesgo para los trabajadores.

La implementación de estas nuevas tecnologías busca mejorar la productividad, reducir costos, optimizar procesos, aumentar los estándares de seguridad y mantener la competitividad de las industrias a nivel global. De los puntos presentados, el que impulsa el desarrollo del proyecto es la seguridad.

Mantener la seguridad de los trabajadores mineros ha sido un problema que ha existido desde el comienzo de esta noble labor, ya que conlleva la manipulación de elementos explosivos de gran potencia, el manejo de maquinaria de carga de alto tonelaje y procesos de tratado de minerales con sustancias químicas nocivas para la salud.

Desde este punto de vista, el proyecto tiene la finalidad de desarrollar e implementar un gemelo físico o maqueta robótica de la maquinaria empleada en la industria minera y automatizarla para que un usuario pueda operar dicho prototipo de forma remota, simulando así una etapa del proceso minero.

Es así que en este informe, se documentará el trabajo realizado durante el segundo semestre de la asignatura de Proyecto 1. La propuesta al problema de la seguridad en la industria minera, consiste en implementar un prototipo robótico automatizado utilizando el kit LEGO Spike Prime; dicho prototipo simulará el proceso de clasificación de materiales en la industria minera. El robot deberá ser capaz de identificar diferentes tipos de materiales representados por piezas de colores y ordenarlos en contenedores designados de manera autónoma o manual.

Durante el desarrollo del proyecto, se abordarán distintas etapas del proceso de diseño e implementación, incluyendo la planificación inicial, el diseño mecánico del prototipo, la programación del sistema de control y la validación del funcionamiento a través de pruebas prácticas.

Cabe destacar que el proyecto se desarrolla bajo restricciones propias de un entorno académico, utilizando el kit LEGO Spike Prime como una plataforma experimental, de la cual no hay mucha documentación relacionada con el proyecto que se lleva a cabo, lo que implica trabajar en una escala reducida, con recursos limitados y centrado exclusivamente en la simulación del proceso minero de clasificación de minerales.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Implementar un prototipo robótico utilizando el kit LEGO Spike Prime, que simule el proceso de clasificación de materiales en la industria minera, siendo capaz de identificar diferentes tipos de materiales representados por piezas de colores y ordenarlos en contenedores designados de manera autónoma o manual por los trabajadores mineros.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y ensamblar en 3 semanas una estructura de robot con LEGO Spike Prime que incluya mecanismos de entrada y salida de piezas.
- Programar el robot para identificar y clasificar piezas por color de forma autónoma a través del sensor de color del set LEGO Spike Prime en un lapso de 5 semanas.
- Diseñar una interfaz de usuario tkinter capaz de enviar comandos inalámbricos al robot, permitiendo al menos 4 acciones de control manual.
- Optimizar el prototipo robótico, realizando mejoras en software y estructura, hasta lograr al menos un 98% de precisión en pruebas controladas tanto del modo automático como manual.
- Elaborar en 2 meses un informe técnico de al menos 10 páginas y una presentación preliminar de mínimo 10 diapositivas que explican el diseño, funcionamiento y resultados del robot.

1.3. Restricciones

- o Sólo se debe utilizar la plataforma Redmine para la presentación de los documentos y avance del proyecto.
- o Se debe utilizar el Set de Lego Spike Prime.
- o Limitación de tiempo para dedicar al proyecto.
- o Cantidad de integrantes por equipo limitado a sólo 5.
- o Disponibilidad del robot para codificar y probar.
- o Robot debe ser capaz de clasificar los materiales de forma manual.

1.4. Entregables

Bitácoras: Son informes semanales que describen el avance del equipo en el proyecto, abarcando actividades realizadas, dificultades encontradas, recomendaciones para mejorar y acciones tomadas. Preparadas por un individuo designado, ofrecen un panorama exhaustivo para apoyar decisiones estratégicas, asignan responsabilidades y resaltan asuntos a tratar en grupo.

Carta Gantt: Representación visual de la programación del proyecto, mostrando en una línea de tiempo las tareas, su duración y secuencia, facilitando la gestión del tiempo y los recursos al visualizar la evolución de las actividades a lo largo del proyecto.

Informe de Formulación: Este documento detalla la organización y estrategia que se siguió para alcanzar los objetivos de la asignatura. Abordaremos la asignación de roles, las metas del equipo y las medidas que implementaremos para lograr el propósito académico. Además, compartiremos nuestras primeras impresiones durante el proceso de desarrollo y presentaremos la documentación relevante recopilada a lo largo del semestre.

Presentaciones: Se detallan los objetivos del proyecto, los retos superados y las soluciones aplicadas. También se resaltan los éxitos obtenidos, la distribución del equipo y se ofrece una visión general del robot.

Robot: Es el objetivo principal de este proyecto, es un prototipo robótico utilizando el kit LEGO Spike Prime, que simula el proceso de clasificación de materiales en la industria minera.

Informe Final: Este documento detalla todo el desarrollo del proyecto, incluyendo la metodología que utilizamos, resultados que se obtuvieron, desempeño del prototipo y conclusiones.

Código Fuente: Repositorio de GitHub que contendrá el código del cliente desarrollado para el control autónomo y manual del prototipo.

2. Organización del Personal

La organización en un grupo es esencial para el desarrollo de un trabajo, y para ello, en base a las necesidades para el proyecto se necesitará una distribución del trabajo adecuada para lograr el objetivo del proyecto.

2.1. Descripción de los Roles

La organización de los roles se definieron considerando las etapas más importantes del proyecto que son Diseño, Construcción, Programación, Documentación y Gestión. Además se tomó en cuenta las competencias individuales de cada uno de los integrantes del proyecto, asegurando una distribución equilibrada de responsabilidades y una cobertura de todas las áreas necesarias para el éxito del proyecto.

Jefe de proyecto: Representante del equipo, supervisa y organiza el progreso de cada rol y del proyecto en general.

Ensamblador: Encargado del montaje y el armado de las piezas, monitorea el cumplimiento de las funcionalidades del robot, en conjunto con el programador.

Programador: Encargado del área de la codificación y funcionamiento del robot, en colaboración del ensamblador.

Documentador: Encargado de tener un registro del avance del proyecto, junto con la redacción de los informes y de la Carta Gantt.

Diseñador: Encargado de la creación del logotipo, la estética y la presentación del proyecto, complementando al ensamblador en cuanto el diseño del robot.

2.2. Personal que Cumplirá los Roles

Rol	Responsable
Jefe de proyecto	Camilo Geraldo
Ensamblador	Ignacio Cuevas
Diseñador	Maximiliano Burgos
Programador	Jose Quispe
Documentador	Matias Sagredo

Tabla N°2. Designación de roles para los integrantes del equipo.

2.3. Métodos de Comunicación

Los medios de comunicación que se usarán para el desarrollo del informe son los siguientes:

WhatsApp, se utilizará para la mensajería, haciendo uso de los grupos que ofrece la plataforma.

Discord, será empleado con servicio de reuniones, aprovechando sus canales de texto y voz.

3. Planificación del Proyecto

3.1. Actividades

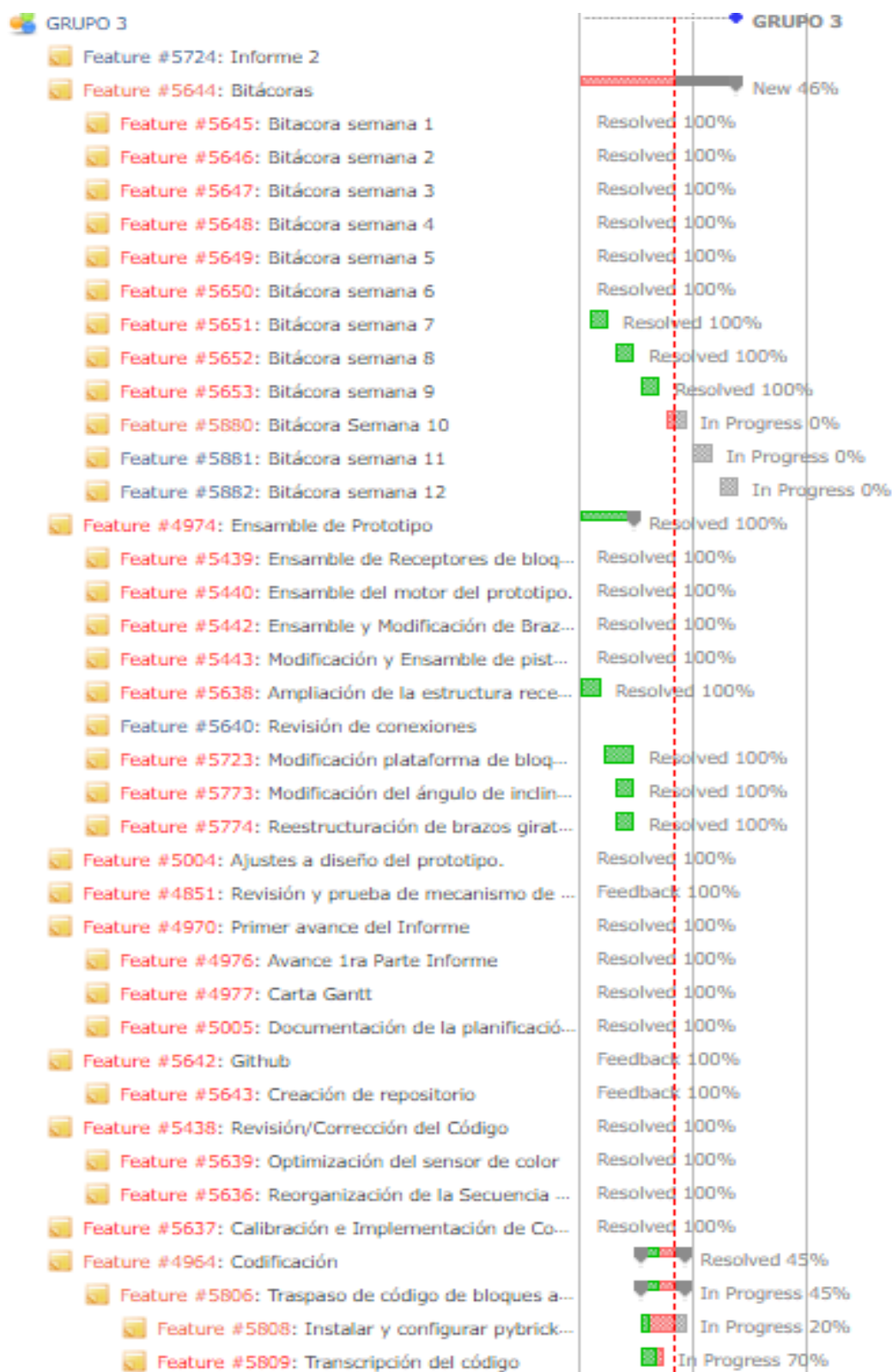
Nombre	Descripción	Responsables	Resultado
Realizar la introducción y exploración de las funcionalidades del set Lego Spike Prime	Se realizó una introducción del set Lego Spike y sus funcionalidades	Todo el grupo.	Comprensión del uso del HUB, motores y sensores
Planificar la estructura base del proyecto	Planificación de roles y asignación.	Camilo Geraldo	Definición del nombre del proyecto y asignación de roles
Redactar las bitacora semanalmente como registro del avance del proyecto	Se realizaron bitácoras semanales detallando el avance del proyecto.	Matias Sagredo	Bitácoras que sirven como registro de lo que se ha realizado durante la semana.
Diseñar el prototipo robótico basándose en guías	Se busca un modelo de prueba del robot, siguiendo una guía básica.	Todo el grupo.	Se establece la forma que tendrá el robot
Ensamblar el prototipo	Armado del robot empleando una guía.	Matias Sagredo Maximiliano Burgos	Concepción base del modelo del robot.
Programar el código en automático del clasificador	Comienzo del código para hacer funcionar al robot	Camilo Geraldo Maximiliano Burgos	Se logra el control automático mediante programación por bloques
Redactar el avance de la primera parte del informe	Se realiza el primer informe de avance.	Todo el grupo.	Tener un primer registro del avance del proyecto.
Avanzar con las diapositivas presentación	A base del informe, se realizará la presentación.	Todo el grupo.	Primera presentación.

Probar y optimizar el clasificador con diferentes piezas	Se realizarán pruebas para ver la eficiencia del clasificador	Jose Quispe Camilo Geraldo Ignacio Cuevas	Detectar posibles fallas de programación o estructurales o casos particulares.
Diseñar una interfaz de usuario para el manejo manual del prototipo	Diseñar una interfaz sencilla y atractiva para el manejo manual del robot.	Jose Quispe Maximiliano Burgos Camilo Geraldo	La funcionalidad del robot pasa de ser automática a manual.
Enlazar la interfaz de usuario con el prototipo.	Conectar la interfaz de usuario con el código del prototipo.	Camilo Geraldo Jose Quispe	Establecer la función manual para que el usuario opere el robot de forma remota.
Probar y optimizar la funcionalidad manual para la detección de fallas.	Probar si la interfaz se sincroniza correctamente con el robot.	Matias Sagredo Jose Quispe	Detectar posibles fallas en la sincronización con el robot y establecer los límites de conexión
Redactar el avance de la segunda parte del informe	Realizar el segundo informe ya finalizando el proyecto.	Todo el grupo	Recopilar los últimos datos
Presentación final de proyecto	Presentar el prototipo terminado.	Todo el grupo	

Tabla N°3. Establecimiento de actividades para el desarrollo del proyecto.

3.2. Carta Gantt

Para ayudar a mantener una planificación temporal clara y ordenada se ha elaborado la siguiente Carta Gantt. Esta nos permite gestionar el cronograma de actividades, mostrando todas las tareas programadas, la duración y el progreso alcanzado en cada una de ellas, haciendo más fácil el seguimiento y la gestión del avance a lo largo del semestre.



3.3. Gestión de Riesgos

Se presenta a continuación una tabla que exhibe un desglose de los problemas que se han presentado a lo largo de la primera fase del proyecto. Esta tabla resume el impacto de cada desafío al clasificar el daño en cinco niveles distintos. Cada nivel está asociado con diferentes tipos de daño:

Daño	Descripción
Recurrente	Riesgo no significativo, pero es reiterativo, retrasa en las sesiones de trabajo, pero no en etapas.
Irrelevante	Riesgo de no mayor importancia, es un detalle imprevisto que no necesita mucha atención y se puede resolver en cualquier momento.
Circunstancial	Riesgo que se debe resolver en el momento, debido a que puede retrasar el desarrollo de una etapa base del proyecto.
Crítico	Se deben tomar medidas necesarias para resolver el riesgo, debido a que puede provocar que el proyecto se retrase en varias etapas.
Catastrófico	Las medidas a tomar en el caso son de forma inmediata, puede provocar que el proyecto se detenga o retrase significativamente, teniendo que volver a empezar desde cero.

Tabla N°4. Tipos de daño.

Riesgo	Nivel de Impacto	Acción Remedial	Amonestación
Descarga de la batería del lego spike prime	5	Utilizar cargador y detener su uso hasta que la carga llegue al mínimo del 30%	No hay culpable directo
Error en la codificación	5	Corregir errores sintácticos y lógicos en lo posible, de no serlo investigar una solución o explorar otro enfoque.	Comunicarlo con el encargado responsable
descoordinación con los horarios de trabajos en conjunto	4	Organizar mejor los horarios disponibles del personal, para que así se puedan realizar..	No hay culpable directo
Personal faltando al horario asignado de trabajo	3	Adelantar tareas para evitar perjudicar al resto de integrantes y así terminar a tiempo el encargo.	Comunicarlo al responsable verbalmente
Dificultades con la conexión wifi	3	Esperar 10 minutos por si se logra volver a conectar automáticamente; si no, cambiar la conexión a una privada o directa.	No hay culpable directo
Atraso en el cumplimiento de tareas	3	Comunicar al equipo, y utilizar las horas extras disponibles, para solucionarlo.	Comunicarlo al responsable verbalmente
Ausencia de piezas	2	Solicitar las faltantes al administrador de piezas.	No hay culpable directo
Desempeño deficiente del robot	2	Modificar la estructura del robot siguiendo guías en línea o adaptando un nuevo diseño a lo requerido.	Conversar directamente con el encargado
Falla de registro en el redmine	1	Comunicar al administrador de la página para encontrar una solución.	No hay un culpable directo

Tabla N°5. Riesgos posibles en el desarrollo del proyecto.

4. Planificación de los Recursos

En esta sección se verán los recursos que fueron necesarios para concebir el proyecto.

4.1. Hardware

- Set de piezas Lego Spike Prime.
- HUB Lego Spike Prime.
- Computadores con sistema operativo compatible para la conexión del HUB.
- SPIKE Prime Set de expansión(v2).

4.2. Software

- Sistema operativo Windows.
- Página Redmine para la gestión del proyecto.
- Página Lego Education Spike para la programación en bloques y Micro Python.

4.3. Estimación de Costos

Estimar costos para el desarrollo de un proyecto es fundamental ya que permite tomar decisiones estratégicas informadas, lo que permite identificar y controlar gastos innecesarios, en esta sección se contemplan todos los costos que fueron necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Costo de Hardware:

Los precios fueron estimados a partir de precios reales en tiendas online.

Set Lego Spike Prime [1] es un kit de lego de la linea spike prime el cual es una excelente herramienta educativa para aprender robótica, ingeniería y programación de manera divertida e interactiva

Set de expansión Lego Spike Prime [2] es una expansión del Set Lego Spike Prime [1] lo que conlleva a una excelente opción para aquellos que desean ir más allá con sus proyectos de robótica y programación, permitiendo una experiencia de aprendizaje aún más rica y variada.

En cuanto a equipo computacional, tanto Lenovo LOQ 15IAX9 [3], Lenovo V14 G2 ALC [4] como Dell AMD Ryzen 5 3450U [5] son las marcas de laptops que fueron necesarias para llevar a cabo el proyecto

Producto	Cantidad	Precio (CLP)
Set Lego Spike Prime [1]	1	\$ 399.950
Set de expansión Lego Spike Prime [2]	1	\$ 156.950
Lenovo LOQ 15IAX9 [3]	1	\$ 699.990
Lenovo V14 G2 ALC [4]	3	\$ 699.990
Dell AMD Ryzen 5 3450U [5]	1	\$ 349.990
Total:	7	\$ 2.306.870

Tabla N°6. Costos de hardware.

Costo de Software:

El proyecto no requiere de ningún tipo de software de pago.

Producto	Precio
Total :	\$ 0

Costo de Trabajador:

El salario promedio fue sacado de la página computrabajo [\[6\]](#); la manera para calcular los salarios es horas x precio/hora + horas extra x precio/hora x 1.5

Rol	Horas	Horas Extra	Precio / Hora	Total (CLP)
Jefe de proyecto	48 horas	5 horas	\$ 8.000	\$ 444.000
Programador	48 horas	5 horas	\$ 7.500	\$416.250
Ensamblador	48 horas	3 horas	\$ 7.000	\$367.500
Diseñador	48 horas	3 horas	\$ 7.000	\$367.500
Documentador	48 horas	4 horas	\$ 7.600	\$410.400
Total :	-	-	-	\$2.005.650

Tabla N°7. Estimación del costo del trabajador.

Destacado:

- La contabilización de las horas trabajadas comienza a partir de la formación del grupo de trabajo 26-09-2025.
- Para la categorización de las horas de trabajo, se tuvo en cuenta el tiempo de trabajo en clases.
- Para la categorización de las horas extras, se tuvo en cuenta el tiempo en las que se trabajó fuera del horario de clase.

Total de Costo:

Costo Hardware	\$2.306.870
Costo Software	\$ 0
Costo Empleados	\$ 2.005.650
Total :	\$ 4.321.520

Tabla N°8.Total de costos.

5. Conclusión

Tras el análisis de nuestro progreso, se puede apreciar que nuestro proyecto no presentó mayores percances a lo largo de su elaboración. La planificación previa y la distribución eficiente de tareas dentro del equipo fueron factores clave para mantener un ritmo constante de trabajo y cumplir con los objetivos establecidos.

Finalizando la primera fase del proyecto, nuestro equipo ha experimentado y comprendido los fundamentos necesarios para el desarrollo del mismo, lo que nos permite avanzar con mayor seguridad hacia las siguientes etapas. Durante esta fase, adquirimos conocimientos relevantes sobre el funcionamiento de los componentes además de la integración de sensores y la lógica básica de control que serán fundamentales en la siguiente etapa.

Ahora nos encontramos listos para continuar con el siguiente paso en el desarrollo: diseñar e implementar la codificación necesaria para controlar el robot, tanto de forma manual como automática. Esta fase será crucial, ya que permitirá poner en práctica todo lo aprendido, así como comenzar a validar el comportamiento del robot en diferentes escenarios. Además, se establecerán protocolos de prueba y validación para asegurar que el sistema responda adecuadamente a las instrucciones, manteniendo un enfoque iterativo que nos permita mejorar continuamente el desempeño del robot.

6. Referencias

- [1] “set lego education spike prime”. lego.com. Disponible: <https://www.lego.com/es-us/product/lego-education-spike-prime-set-45678>
- [2] “set lego education spike prime expansion”. lego.com. Disponible: <https://www.lego.com/es-us/product/lego-education-spike-prime-expansion-set-45681>
- [3] “Lenovo LOQ 15IAX9”. ripleys.cl. Disponible: https://simple.ripley.cl/notebook-gamer-lenovo-loq-intel-core-i5-16gb-ram-512gb-ssd-nvidia-rtx-3050-156-2000401757082p?color_80=gris&s=mdco
- [4] “Lenovo V14 G2 ALC [82KC00DECL]” opcstore.cl Disponible: <https://opcstore.cl/products/notebook-lenovo-v14-alc-8gb-ssd-512gb-14-hd-w10-pro>
- [5] “Dell AMD Ryzen 5 3450U” ripleys.com Disponible: <https://simple.ripley.cl/notebook-dell-inspiron-3505-amd-ryzen-5-8-gb-ram-256gb-ssd-156-2000381708951p?s=mdco>
- [6] ”salario medio de Ingeniero informático en Chile”: <https://cl.computrabajo.com/salarios/ingeniero-informatico>
- [7] Aminerals, “Innovación”, Aminerals, [En línea]. Disponible en: <https://www.aminerals.cl/innovacion>
- [8] “Automatización en la industria minera ¿Cuáles son los desafíos y beneficios?”, YouTube, vídeo en línea, 2025. Disponible en: <https://youtu.be/XRxxaLYVreU> .
- [9] Consejo Minero, “Cifras actualizadas de la minería”, Consejo Minero, [En línea]. Disponible en: <https://consejominero.cl/mineria-en-chile/cifras-actualizadas-de-la-mineria/>.
- [10] SONAMI, “SONAMI proyecta que en 2025 la minería continuará aportando más del 10% del PIB”, SONAMI, 19 nov. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sonami.cl/v2/noticias/sonami-proyecta-que-en-2025-la-mineria-continuara-aportando-mas-del-10-del-pib/>).