

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHÍCULO
TELEOPERADO PARA MEDICIÓN DE GASES TÓXICOS
EN ESPACIOS CONFINADOS EN GRAN MINERÍA EN LA
CIUDAD DE AREQUIPA**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

PRESENTADA POR

Bach. TSUKAYAMA LOZANO, HIROSHI

Asesor: Ing. RIVAS LEON, JAVIER

LIMA-PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mi familia.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi madre Sonia Lozano, por el apoyo constante. Gracias a ella pude afrontar los retos que se me presentaron en la vida. A mis hermanos por la paciencia y por último a Melissa Castillo mi enamorada, quien me daba ánimos de continuar. Finalmente, un agradecimiento a mi asesor Ing. Javier Rivas Leon, por el tiempo dedicado a revisar mi trabajo.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. PROBLEMATIZACIÓN.....	3
1.1.1. Problema general.....	3
1.1.2. Problema específico.....	3
1.2. OBJETIVO.....	4
1.2.1 Objetivos Generales.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	8
2.2. SELECCIÓN DE VARIABLES.....	9
2.3. BASES TEÓRICAS.....	9
2.3.1. Vehículo Terrestre.....	9
2.3.2. Robots móviles.....	10
2.3.3. Sistema de locomoción.....	11
2.3.3.1. Locomoción con ruedas.....	12
2.3.3.2. Locomoción con Orugas.....	13
2.3.3.3. Sistema de locomoción por tracción diferencial.....	14
2.3.3.4. Motores de corriente continua (CC).....	15
2.3.4. Baterías de Polímero de Litio (LiPo).....	15
2.3.4.1.1. Ventajas.....	16
2.3.4.1.2. Desventajas.....	16
2.3.5. Teleoperación.....	17
2.3.5.1. Protocolos de comunicación.....	18
2.3.5.1.1. Variación por ancho de pulso (PWM).....	18
2.3.5.1.2. Modulación por código de pulso (PCM).....	19
2.3.5.1.3. Modulación por posición de pulso (PPM).....	19
2.3.5.2. Telemetría.....	20
2.3.6. Gases Tóxicos.....	20
2.3.6.1. Dioxígeno (O ₂).....	21
2.3.6.2. Ácido sulfhídrico (H ₂ S).....	22
2.3.6.3. Monóxido de Carbono (CO).....	23
2.3.6.4. Dióxido de Carbono (CO ₂).....	23

2.3.6.5.	Amoniaco (NH ₃).....	24
2.3.6.6.	Dióxido de azufre (SO ₂)	25
2.3.6.7.	Gases combustibles (GC)	25
2.3.7.	Sensores para medición de gases	26
2.3.7.1.	Sensor Catalítico (Gases Combustibles)	26
2.3.7.2.	Sensor Electroquímico	27
2.3.7.3.	Sensor infrarrojo para CO ₂	27
2.3.8.	Espacios confinados	28
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL VEHICULO TELEOPERADO		29
3.1.	CONDICIONES INICIALES.....	29
3.2.	DISEÑO MECÁNICO	30
3.2.1.	Diseño del cuerpo del móvil.....	31
3.2.1.1.	Soporte de componentes electrónicos	31
3.2.2.	Soporte Laterales.....	35
3.2.3.	Cubierta del móvil.....	36
3.2.4.	Cubierta de Sensores	36
3.2.5.	Sistema de tracción diferencial	37
3.2.5.1.	Modelamiento matemático de un sistema con tracción diferencial	38
3.2.5.2.	Ecuaciones Cinemáticas	40
3.2.5.3.	Ecuaciones Dinámicas.....	41
3.2.6.	Diseño Engranaje dentado Mayor	43
3.2.6.1.	Circunferencia primitiva	45
3.2.6.2.	Angulo del Engranaje.....	45
3.2.6.3.	Diámetro primitivo (Dp)	45
3.2.6.4.	Diámetro exterior (De).....	45
3.2.6.5.	Diámetro interior (Di)	46
3.2.6.6.	Paso circular (P)	46
3.2.6.7.	Numero de dientes (N)	46
3.2.6.8.	Cálculo del engranaje mayor.....	46
3.2.7.	Diseño Engranaje dentado Menor	48
3.2.7.1.	Cálculo del engranaje menor.....	48
3.2.8.	Diseño de cadena.....	50
3.2.8.1.	Recorrido de Cadena	52
3.3.	DISEÑO ELÉCTRICO.....	53
3.3.1.	Selección de Actuadores	53
3.3.2.	Alimentación del sistema de potencia.....	55
3.3.3.	Sección del conductor	57
3.4.	DISEÑO ELECTRÓNICO	58
3.4.1.	Sistema de potencia.....	58
3.4.1.1.	Diseño del sistema de Potencia	59
3.4.1.2.	Especificaciones	64
3.4.2.	Sistema de visión en primera persona	65
3.4.3.	Adquisición de datos	66

3.4.3.1.	Acondicionamiento para los sensores O2 y gases combustibles.....	67
3.4.3.2.	Acondicionamiento para los Sensores NH3, CO2, H2S Y SO2	69
3.4.4.	Sistema de control	74
3.4.4.1.	Sistema de alimentación del sistema de control.....	76
3.4.4.2.	Control de motores	76
3.4.4.3.	Lectura de sensores	77
3.4.4.4.	Datos de control (Recepción).....	78
3.4.4.5.	Diseño de placa de control	79
3.4.5.	Diseño de la placa de sensores	81
3.5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	82
3.5.1.	Control de motores	82
3.5.1.1.	Avanzar	83
3.5.1.2.	Retroceder	84
3.5.1.3.	Giro a Derecha	85
3.5.1.4.	Giro Izquierda	85
3.5.1.5.	Detener	86
3.5.2.	Control del sistema en primera persona	87
3.5.3.	Lectura de Sensores.....	88
3.5.4.	Interpretación de las señales del receptor.....	89
3.6.	PRESUPUESTO.....	90
CAPITULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS		92
4.1.	PRUEBAS	92
4.1.1.	Prueba 1	92
4.1.2.	Prueba 2.....	92
4.1.3.	Prueba 3.....	92
4.2.	RESULTADOS.....	93
4.2.1.	Resultados de la prueba 1	93
4.2.2.	Resultados de la prueba 2.....	98
4.2.3.	Resultados de la prueba 3.....	99
4.2.4.	Resultados finales.....	103
4.2.5.	Costos	103
CONCLUSIONES		105
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....		106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		107
ANEXOS		110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Crecimiento de la minería en el Perú.....	1
Figura 2.	Robot espacial teleoperado.....	10
Figura 3.	Robots móviles	10
Figura 4.	Sistemas de locomoción más Usados	11
Figura 5.	Sistema con locomoción por ruedas	12
Figura 6.	Robot con sistema de locomoción por ruedas frente a un obstáculo.....	13
Figura 7.	Sistemas de Tracción.....	13
Figura 8.	Robot móvil con tracción por Orugas o Fajas	14
Figura 9.	Sistema de tracción Diferencial.....	14
Figura 10	Motores de corriente continua	15
Figura 11.	Batería LIPO	16
Figura 12.	Espectro de ondas	17
Figura 13.	Modulación por ancho de pulso.....	18
Figura 14.	Señal parcial de una onda Modulada	19
Figura 15.	Usos de la telemetría.....	20
Figura 16.	Emisión de gases toxico al medio ambiente	21
Figura 17.	Composición O ₂	21
Figura 18.	Composición del Ácido Sulfhídrico (H ₂ S).....	22
Figura 19.	Composición del Monóxido de Carbono (CO).....	23
Figura 20.	Composición grafica del Dióxido de Carbono (CO ₂)	24
Figura 21.	Combustión de un gas combustible	26
Figura 22.	Puente Wheatstone.....	26
Figura 23.	Arquitectura de funcionamiento del Sensor Electroquímico	27
Figura 24.	Funcionamiento del sensor Óptico CO ₂	27
Figura 25.	Medición de gases en espacios confinados.....	28
Figura 26.	Diseño mecánico del vehículo teleoperado	30
Figura 27.	Vista en 3D del cuerpo del Móvil.....	31
Figura 28.	Vista superior del soporte de componentes electrónicos	31
Figura 29.	Dimensiones de Placa electrónica principal	32
Figura 30.	Batería seleccionada para la aplicación	33

Figura 31.	Radio de acción del sistema de visión en primera persona.....	33
Figura 32.	Dimensiones de la base del móvil – Vista superior	34
Figura 33.	Dimensiones de la base del móvil – vista Lateral.....	34
Figura 34.	Dimensiones de la lateral Izquierdo del móvil – vista frontal	35
Figura 35.	Dimensiones de la lateral Derecho del móvil – vista frontal	35
Figura 36.	Dimensiones de la lateral Izquierdo del móvil – vista frontal	36
Figura 37.	Vista Isométrica del cobertor de los sensores	37
Figura 38.	Disposición del Sistema de tracción diferencial	37
Figura 39.	Centro de Gravedad del Móvil.....	37
Figura 40.	Móvil de dos ruedas	38
Figura 41.	Localización en el plano cartesiano del móvil	39
Figura 42.	Relaciones geométricas para el ángulo de giro.....	40
Figura 43.	Partes del engranaje	44
Figura 44.	Partes del engranaje	45
Figura 45.	Engranaje Mayor 2D.....	47
Figura 46.	Engranaje Mayor 3D.....	48
Figura 47.	Engranaje Menor 2D.....	49
Figura 48.	Engranaje Menor 3D.....	50
Figura 49.	Eslabón principal de la cadena.....	51
Figura 50.	Unión de dos eslabones.....	51
Figura 51.	Ubicación del eslabón principal y recorrido	52
Figura 52.	Distribución de eslabones en recorrido de faja.....	52
Figura 53.	Diagrama de cuerpo libre del sistema.....	53
Figura 54.	Baterías conectadas en paralelo	56
Figura 55.	Puente H con Relays	59
Figura 56.	Puente H con Transistores	60
Figura 57.	Puente H con Mosfets	60
Figura 58.	Puente H con Mosfet BTN7970.....	61
Figura 59.	Arreglo para el control de dos Motores	62
Figura 60.	Arreglo Interno de 74HC244	63
Figura 61.	Integración del 74HC244 al circuito.....	63
Figura 62.	Diseño del sistema de potencia Final.....	64

Figura 63.	Movimiento del sistema de visión en primera persona para el eje X	65
Figura 64.	Movimiento del sistema de visión en primera persona para el eje Z.....	66
Figura 65.	Niveles de tensión de salida de los sensores	66
Figura 66.	Valores comerciales de resistencias.....	68
Figura 67.	Arreglo para amplificación de señal	69
Figura 68.	Circuito divisor de tensión	70
Figura 69.	Simulación del circuito divisor de tensión.....	71
Figura 70.	Circuito Restador de voltaje	72
Figura 71.	Circuito para acondicionamiento de sensores.....	73
Figura 72.	Diseño final del acondicionamiento de señal para sensores	73
Figura 73.	Diseño final del acondicionamiento de Señal para sensores	74
Figura 74.	Diagrama de bloques del sistema de control	75
Figura 75.	Circuito de alimentación de 5 VDC 2 Amps.	76
Figura 76.	Prueba de señales de salidas analógicas	77
Figura 77.	Arquitectura del Microcontrolador	77
Figura 78.	Diagrama de conexiónado de las entradas analógicas	78
Figura 79.	Modulación por posición de punto	78
Figura 80.	Entrada por interrupción para PPM	79
Figura 81.	Diseño esquemático de la placa de control	79
Figura 82.	Diseño de placa electrónica en ARES	80
Figura 83.	Diseño de placa electrónica 3D en ARES	80
Figura 84.	Diseño de placa electrónica para sensores en ARES	81
Figura 85.	Modelamiento de placa electrónica en 3D.....	81
Figura 86.	Diagrama de bloques Control de Motores	82
Figura 87.	Algoritmo de control de motores	83
Figura 88.	Movimiento del móvil hacia adelante.....	83
Figura 89.	Algoritmo para que el móvil avance.....	84
Figura 90.	Movimiento del móvil hacia Atrás	84
Figura 91.	Algoritmo para que el móvil Retroceda.....	84
Figura 92.	Movimiento del móvil hacia la derecha.....	85
Figura 93.	Algoritmo para que el móvil gire a la derecha.....	85
Figura 94.	Movimiento del móvil hacia la Izquierda	86

Figura 95.	Algoritmo para que el móvil gire a izquierda	86
Figura 96.	Algoritmo para que el móvil se detenga	86
Figura 97.	Control para servomotores.....	87
Figura 98.	Algoritmo para el control de los servomotores.....	88
Figura 99.	Algoritmo para la lectura de sensores analógicos.....	88
Figura 100.	Algoritmo para lectura de señal PPM.....	89
Figura 101.	Ensamblaje de engranajes en base del robot.....	93
Figura 102.	Resultado del diseño de los engranajes mayor y el eslabón principal	94
Figura 103.	Resultado del diseño de los engranajes mayor y el eslabón principal	94
Figura 104.	Ensamblaje de la cadena de transmisión y los engranajes del móvil	95
Figura 105.	Simulación de la cadena de transmisión	95
Figura 106.	Simulación de movimiento hacia adelante	96
Figura 107.	Simulación de movimiento hacia atrás	96
Figura 108.	Simulación de movimiento hacia la derecha	97
Figura 109.	Simulación de movimiento hacia la izquierda.....	97
Figura 110.	Amplificación 1.5 a 5 Voltio	98
Figura 111.	Acondicionamiento para 3 VDC de entrada.....	98
Figura 112.	Acondicionamiento para 0.6 VDC de entrada.....	99
Figura 113.	Prueba de motores.....	99
Figura 114.	Información Recolectada de los motores.....	100
Figura 115.	Prueba de dos servomotores en simultaneo	100
Figura 116.	Datos recolectados por el microcontrolador	101
Figura 117.	Resultados obtenidos en la simulación de la adquisición de datos.....	101
Figura 118.	Circuito para la simulación de lectura del protocolo PPM	102
Figura 119.	Resultados obtenidos de la prueba.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Variables e indicadores.....	9
Tabla 2.	Valores permisibles del Dioxígeno O ₂	22
Tabla 3.	Valores permisibles del Ácido sulfhídrico (H ₂ S).....	22
Tabla 4.	Valores permisibles del Monóxido de Carbono (CO).....	23
Tabla 5.	Valores permisibles del Dióxido de Carbono (CO ₂).....	24
Tabla 6.	Valores permisibles del Amoniacó (NH ₃)	24
Tabla 7.	Valores permisibles del Dióxido de Azufre (SO ₂).....	25
Tabla 8.	Dimensiones de la placa electrónica principal	32
Tabla 9.	Dimensiones de la batería.....	32
Tabla 10.	Dimensiones de la estructura base.....	34
Tabla 11.	Las principales partes del engranaje de describen a continuación	44
Tabla 12.	Consideraciones para el cálculo del engranaje mayor	46
Tabla 13.	Consideraciones para el cálculo del engranaje menor.....	48
Tabla 14.	Características del eslabón.....	50
Tabla 15.	Característica del motor	55
Tabla 16.	Tabla de estados del Motor.....	61
Tabla 17.	Parámetros de sistema de potencia	64
Tabla 18.	Componentes que comprenden el sistema de visión en primera persona..	65
Tabla 19.	Listado de entradas y Salidas.....	75
Tabla 20.	Resumen de resultados	103
Tabla 21 .	Costos en Ingeniería y Manufactura	104

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Estructura base	111
Anexo 2.	Lateral izquierdo	112
Anexo 3.	Lateral derecho	113
Anexo 4.	Batería.....	114
Anexo 5.	Cubierta superior.....	115
Anexo 6.	Sistema de cámara	116
Anexo 7.	PCB General	117
Anexo 8.	PCB Ares	118
Anexo 9.	PCB Sensores.....	119
Anexo 10.	PCB Sensor ares.....	120
Anexo 11.	Prueba motor.....	121
Anexo 12.	Prueba ppm	122
Anexo 13.	Prueba sensor	123
Anexo 14.	Prueba servomotor	124

RESUMEN

La presente tesis titulada “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHICULO TELEOPERADO PARA MEDICIÓN DE GASES TÓXICOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN GRAN MINERIA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA” se compuso principalmente por un diseño mecánico, eléctrico, electrónico e informático.

Se diseñó y se simuló de manera exitosa un vehículo teleoperado, el cual está compuesto por un circuito de control capaz de procesar y transmitir, de manera remota, hasta seis (06) datos de gases tóxicos que se pueden encontrar en espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa. Además, el vehículo teleoperado cuenta con un sistema de visión en primera persona para poder observar el recorrido que se está realizando y para determinar si existe algún obstáculo que superar.

Como resultado de la presente tesis, se diseñó y se simuló un vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos en espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa, con lo que se puede reducir la cantidad de problemas que puede generar la ausencia o el enriquecimiento de los gases tóxicos para el ser humano.

Palabras Claves: Vehículo teleoperado, Gases Tóxicos, Espacios confinado, Minería.

ABSTRACT

This thesis entitled "DESIGN AND SIMULATION OF A TELEOPERATED VEHICLE FOR MEASURING TOXIC GASES IN CONFINED SPACES IN THE MINING COMPANY OF SOUTH OF PERU" was mainly composed of a mechanical, electrical, electronic and computer design.

A teleoperated vehicle was designed and simulated successfully, which is composed of a control circuit capable of processing and transmitting, remotely, up to six (06) toxic gas data that can be found in confined spaces in the mining company of southern Peru. In addition, the teleoperado vehicle has a system of vision in first person to be able to observe the route that is being made and to determine if there is an obstacle to overcome.

As a result of this thesis, a teleoperated vehicle was designed and simulated to measure toxic gases in confined spaces in large mining in the city of Arequipa, which can reduce the number of problems that absence or enrichment can cause. the toxic gases for the human being.

Keywords: Teleoperated Vehicle, Toxic Gases, Confined Spaces, Mining.

INTRODUCCIÓN

La minería tiene una presencia importante en el país ya que genera un gran impacto en el resto de la economía. “El sector minero es la mayor fuente de ingreso del País, El Instituto Peruano de Economía indica que este representa más del 50% de las divisas, el 20% de la recaudación fiscal, el 11% del PBI” (Macroconsult, 2012, p.1).

En la figura 1, se muestra el crecimiento de la minería en el Perú.



Figura 1. Crecimiento de la minería en el Perú

Fuente: “Declaraciones Mensuales”, por ESTAMIN, (2012)

Los países y las empresas que cuentan con una fuerte presencia en el sector minero no solamente consiguen una fuerte presencia en el crecimiento de su País, sino también transmiten una imagen de modernidad debido a que da renacimiento al lugar donde se desarrollará la entidad minera, ya que este hace obras para el sector del País.

Esto significa que, en los países más desarrollados, las inversiones en equipos para la explotación del mineral han crecido de forma significativa y muy por encima de otros sectores. No obstante, el conocimiento sobre los riesgos que esto lleva no se ha hecho mucho hincapié. (Misereor, 2011)

Los riesgos que existen en las plantas mineras son muy peligrosos y pueden causar hasta la muerte. Los principales riesgos que podemos encontrar son mencionados a

continuación, caídas a desnivel, electrocución, riesgo de caídas de objetos, intoxicación por ambientes tóxicos. Para cada uno de estos existe medidas de protección para disminuir o suprimir el riesgo de cada peligro. Sin embargo, el caso más crítico que existe es para detectar los gases que residen en espacios confinados, ya que estos no son detectados a tiempo.

El principal motivo de la presente investigación es desarrollar una simulación de un vehículo teleoperado capaz de obtener información de los gases tóxicos que se presentan en un espacio confinado. Así mismo para un estudio sistematizado del problema, la investigación se ha estructurado de la siguiente manera:

CAPITULO I: Planteamiento del problema, donde se considera la problematización, objetivos generales y específicos, justificaciones, alcances y limitaciones de la investigación.

CAPITULO II: Marco teórico, donde se considera los antecedentes de la investigación, sean internacionales y nacionales, óptica de la investigación, selección de variables con sus dimensiones y bases teóricas.

CAPITULO III: Diseño y simulación del sistema, donde se considera el diseño mecánico, diseño eléctrico, diseño electrónico, diseño informático, implementación mecánica, simulación eléctrica y simulación electrónica.

CAPITULO IV: Pruebas y resultados, donde se comprueba los objetivos propuestos de la presente investigación.

Para finalizar la investigación se redactan las conclusiones, recomendaciones y se describe la referencia bibliográfica utilizada como también se consideran los anexos con información que valida la investigación realizada.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problematización

En los últimos años, en gran minería en la ciudad de Arequipa se ha visto un incremento en el interés por la seguridad del personal debido a muertes fatales por inhalación de los gases tóxicos producidos en espacios con acceso limitado (espacios confinados).

En gran minería en la ciudad de Arequipa se cuenta con detectores de gases los cuales detectan la presencia de estos gases tóxicos, donde la persona no debe ingresar. Esto ayuda a la mejora continua para salvaguardar la integridad física de la persona evitando exposiciones a lugares con fugas de gases tóxicos propios de las empresas mineras.

A pesar de la existencia de esta tecnología, en gran minería en la ciudad de Arequipa sigue habiendo casos de daños a causa de los gases tóxicos, estos daños como ya se ha mencionado anteriormente, puede causar grandes daños para el trabajador. Debido a que la medición aún se realiza con una persona, quien porta el monitor de gases y determina si es posible o no realizar trabajos en espacios confinados.

La presente tesis busca diseñar un vehículo que realice la función de monitoreo previo a que una persona ingrese al espacio confinado, evitando accidentes o intoxicación por gases tóxicos, gases volátiles y otros componentes que puedan alterar al desarrollo de un trabajo seguro.

1.1.1. Problema general

¿Cómo diseñar y simular un vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos en espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa?

1.1.2. Problema específico

- a) ¿Cómo diseñar la electrónica necesaria para la medición de gases tóxicos en espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa?
- b) ¿Cómo diseñar y simular la parte mecánica del vehículo móvil?

- c) ¿Cómo diseñar y demostrar la unidad de potencia del vehículo móvil?
- d) ¿Cómo diseñar y simular el sistema electrónico para tele operación y telemetría?

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivos Generales

La presente Tesis tiene como objetivo diseñar y simular un vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos en espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Diseñar la electrónica necesaria para la medición de gases tóxicos en espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa.
- b) Diseño y simulación de la parte mecánica del vehículo móvil.
- c) Diseño y demostración de la unidad de potencia del vehículo móvil.
- d) Diseño y simulación del sistema electrónico para tele operación y telemetría.

1.3. Justificación

Actualmente los espacios confinados conllevan riesgos ambientales dado que su atmosfera puede ser explosiva, peligrosa para el personal de la mina, con deficiencia o abundancia de gases peligrosos como el oxígeno o gases volátiles, lo cual podría generar una explosión si se realizan trabajos en caliente. Por eso, hoy en día toda empresa que tenga espacios confinados independientemente de la actividad económica debe tener un procedimiento o un protocolo de seguridad, el cual incluye de capacitaciones constantes, que son tomadas como medidas de prevención, para los trabajadores que vayan a ejercer labores en los espacios confinados, de lo contrario, los trabajadores son muy vulnerables para sufrir accidentes que podrían llegar a ser mortales. En caso de que suceda un accidente que involucre a una persona trabajando en un espacio confinado, la compañía minera deberá generar planes de acción que involucra pérdidas económicas en el desarrollo del proceso de la extracción de los minerales. Ante esta situación, está presente tesis posee una gran importancia en los siguientes ámbitos:

En lo Social, permite tener una mejor seguridad con el personal que trabaja en espacios confinados de la compañía minera del sur del Perú. Cumpliendo así con las normas de

seguridad industrial del Perú de mantener un ambiente laboral con cero accidentes y/o incidentes.

En lo tecnológico, permite a la gran compañía minería en la ciudad de Arequipa el desarrollo de tecnología local permitiendo el desarrollo de nuevas herramientas automatizadas para la operación de tareas difíciles en un ambiente industrial.

En lo económico, al ser una investigación, aplicable en un futuro, permite reducir costos de producción y de mantenimiento. Ya que se contará con el soporte local.

1.4. Alcances y Limitaciones de la Investigación

La presente tesis contempla el diseño y simulación de un vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos en espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa.

Sus alcances principales son los siguientes:

- a) Diseño de un vehículo teleoperador capaz de sensar y procesar gases tóxicos en ambientes confinados.
- b) Diseño del sistema de acondicionamiento de señales para la lectura de gases tóxicos.
- c) Simulación del vehículo teleoperador, logrando emular el movimiento.
- d) Simulación del sistema de acondicionamiento de señales

Las limitaciones que se presentaron fueron las siguientes:

- a) Debido a que el diseño y las simulaciones, se basaran a la información recolectada en diferentes medios tales como, manuales de operaciones, información de libros, datos de internet, y fuente confiable como la gran minería en la ciudad de Arequipa. Sin embargo, la información real de los espacios confinados de la gran minería en la ciudad de Arequipa se obtendrá con el permiso respectivo para el uso de información de datos históricos de niveles de gases tóxicos en diferentes partes de la compañía Minera.

- b) El diseño fue realizado en base a hoja de datos de los componente, especificaciones técnicas y datos que los proveedores comparten en libros, revistas y páginas en internet; sin embargo, han existido casos en donde las dimensiones varían ligeramente respecto a lo especificado en las hojas de datos y hojas técnicas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se mencionan los antecedentes de la investigación que se tomaron como referencia y como bases para el diseño y simulación de un vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos en espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa. Asimismo, se menciona y describe la óptica de la investigación, en la cual se define la hipótesis de la investigación.

Además, se establece la selección de variables que define el control del sistema. Finalmente, se presentan las bases teóricas que sustentan y complementan con todos los temas que se utilizaron y aplicaron para el desarrollo de la presente tesis.

2.1. Antecedentes de la Investigación

Durante años, la ingeniería ha tratado de encontrar la mejor forma de diseñar y construir nuevas tecnologías, que brinden mayor seguridad a los trabajadores de las industrias como la minera, y con esto alcanzar un factor de gran importancia para la minera el cual es: Cero Accidentes de Trabajo. A continuación, mostramos tesis anteriores que contribuyeron con el desarrollo del sistema embebido.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Chavez (2012) en su tesis de Maestría: Construcción de un prototipo de robot móvil teleoperado, Por sus características este robot puede ser empleado para actividades de inspección y ayuda en tareas de vigilancia, esto en terrenos regulares. El dispositivo teleoperado es un robot móvil que trabaja con dos motores y se compone por cuatro patas. Estas patas se unen en pares para proporcionarle mayor estabilidad al momento de desplazarse. El robot cuenta con un mecanismo de 12 barras que, con ayuda de las patas, realizan el movimiento de translación. Adicionalmente tiene un movimiento de rotación sobre su propia base.

Sanchez (2002) en su tesis de Doctorado: Implementación de un sistema teleoperado con reflexión de fuerzas de seis grados de libertad, presenta la construcción de un prototipo de robot móvil teleoperado. Por sus características este robot puede ser empleado para

actividades de inspección y ayuda en tareas de vigilancia, esto en terrenos regulares. El dispositivo teleoperado es un robot móvil que trabaja con dos motores y se compone por cuatro patas. Estas patas se unen en pares para proporcionarle mayor estabilidad al momento de desplazarse. el robot cuenta con un mecanismo de 12 barras que, con ayuda de las patas, realizan el movimiento de traslación.

Vidal (2014) en su tesis de Maestría: Sistema de Sensado Remoto para la medición de variables ambientales, tiene como objetivo monitorear algunas variables ambientales tales como presión y temperatura y permitir la medición de estas variables físicas mediante sistemas embebidos compuestos por una Base de Datos de Microcontroladores ATMEGA328 digitales de última Generación y de bajo costo, las cuales se almacenarán en un sistema de información diseñado específicamente para la adquisición de Radiofrecuencia. El envío de la información obtenida a diferentes sistemas de comunicación como son: comunicación inalámbrica, red, telefonía.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Canelo y Vera (2015) en su tesis de Pregrado: Diseño e implementación de un robot híbrido controlado por simulink y un web server embebido en raspberry pi para el Laboratorio de Ingeniería Mecatrónica, presenta el diseño e implementación de un robot híbrido capaz de ser controlado por simulink y web server, usando una microcomputadora (Raspberry) donde fue montado el web server y la programación necesaria para el control del robot. Asimismo, en esta tesis se usan diferentes dispositivos electrónicos de potencia capaz de suministrar la corriente necesaria a todo el sistema. Esta tesis se desarrolló con éxito explicando a detalle cada parte del diseño de potencia, la cual será útil para el desarrollo de la tesis en mención.

Rozas (2017) en su tesis de Pregrado: Diseño y Simulación de un brazo robótico de 5 GDL para asistencia de pacientes con parálisis cerebral espástica adaptado en una silla de ruedas, presenta el diseño y simulación de un brazo robótico de 5 grados de libertad (GDL), para pacientes con parálisis cerebral espástica adaptado a una silla de ruedas eléctrica. Se busca hacer uso de los últimos avances en robótica para asistir a personas con déficit de movimiento, generado por una parálisis cerebral u otras enfermedades que limiten y generen dependencia de terceros. En esta, se puede obtener mayor información

sobre las pruebas que se realicen a los diseños mecánicos y cálculos de esfuerzos para la correcta selección de los actuadores.

Juarez (2017) en su tesis de Pregrado: Diseño e Implementación de un sistema embebido inteligente para silla de ruedas eléctricas usadas por pacientes parapléjicos, presenta el diseño electrónico de potencia y control de un sistema embebido inteligente que posee un nivel de inteligencia artificial usando lógica difusa y una interfaz gráfica utilizada por pacientes parapléjicos. En esta tesis, se implementó un arreglo de controladores para pre-procesar la información, realizar el control difuso y tener las salidas necesarias para los actuadores de gran consumo energético.

2.2. Selección de Variables

Para demostrar y comprobar la hipótesis, se tiene las variables y los indicadores que se indican en la tabla 1.

Tabla 1 Variables e indicadores

Variables	Indicadores
Variable 1 (Independiente): Vehículo teleoperado	• Velocidad del sistema Móvil
	• Consumo Eléctrico del Sistema
Variable 2 (Dependiente): Medición de Gases	• Porcentaje de gases en el ambiente
	• Tiempo de disipación de Gases

Fuente: Elaboración propia

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Vehículo Terrestre

Los vehículos terrestres son generalmente sofisticados y muy útiles en entornos peligrosos, como en el manejo de residuos químicos y atómicos y en la desactivación de bombas (ver figura 2).



Figura 2. Robot espacial teleoperado

Fuente: “Robot de Servicio y Teleoperado”, por Gonzales U, (2002)

2.3.2. Robots móviles

Son dispositivos electromecánicos con capacidad para desplazarse en un espacio de trabajo. De acuerdo con su tipo de locomoción, los robots móviles se clasifican en: locomoción mediante orugas, patas y ruedas. “Pueden llevar diversos sistemas de sensores para captar información; por ejemplo: a través de bandas electromagnéticas o fotoeléctricas, vía radio o por medio de sus propias cámaras de visión”. (Aracil, R., Saltaren, R., Sabaster, J. & Reinoso, O, 2006, p.1)

Algunos de estos robots pueden ser apreciados, tal como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Robots móviles

Fuente: “Robots Paralelos”, por Pedraza M, (2016)

Una de las razones por las cuales los robots móviles propulsados por ruedas han constituido el área de interés para la investigación científica y tecnológica, es que pertenecen a la clase de sistemas denominados no holónomos. Estos sistemas se caracterizan por satisfacer restricciones no integrales en las velocidades. Por otro lado, el modelo matemático de un robot móvil es un sistema no lineal. Esto ha dado lugar a la publicación de diferentes trabajos en el área de la robótica móvil.

Se emplean en determinados tipos de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en cadenas de producción y almacenes. También se utilizan robots de este tipo para la investigación en lugares de difícil acceso o muy distantes, como es el caso de la exploración espacial y las investigaciones o rescates submarinos.

2.3.3. Sistema de locomoción

Hoy en día, los robots móviles utilizan diferentes técnicas para lograr moverse en una superficie plana uniforme o un terreno con muchos obstáculos. Estos en su gran parte usan energía eléctrica que son suministradas por baterías las cuales alimentan a uno o varios motores de corriente continua (DC). Los motores eléctricos están distribuidos de tal forma que se pueda lograr los movimientos deseados tales como, avanzar, retroceder, girar a la derecha o girar a la izquierda. (Edmundo, 2012)

Existen diferentes sistemas de locomoción, se mencionarán los más comunes y usados en robots industriales (ver figura 4).

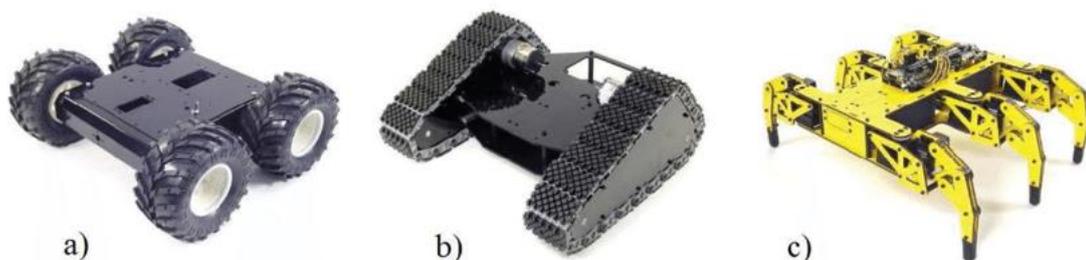


Figura 4. Sistemas de locomoción más Usados

Fuente: "Robot Movil", por Pedraza M, (2016)

2.3.3.1. Locomoción con ruedas

La tracción a ruedas es considerada la más común y popular, en los robots móviles para obtener la movilidad del mecanismo. El sistema de locomoción con ruedas puede alcanzar velocidades altas y una gran estabilidad del móvil, sin embargo, para lograr esta estabilidad es necesario utilizar por lo menos dos (02) ruedas (ver figura 5).



Figura 5. Sistema con locomoción por ruedas
Fuente: “Vehículo de Tierra”, por Arreguin P, (2015)

El principal inconveniente de la locomoción por ruedas es que la superficie por donde tiene que moverse. Si el terreno en donde se encuentra es blando o irregular, el movimiento será más dificultoso y existe una gran probabilidad de que no pueda quedar atorado por causa de algún obstáculo en su camino (ver figura 6).

El robot móvil que usa un sistema de locomoción por ruedas se encuentra inhabilitado para continuar sus operaciones al encontrarse con un obstáculo.

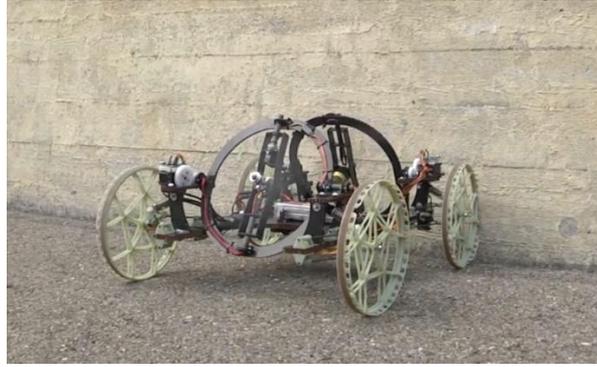


Figura 6. Robot con sistema de locomoción por ruedas frente a un obstáculo

Fuente: “Vértigo robot”, por Disney R, (2015)

Existen diferentes tipos de ruedas y diferentes configuraciones, para su movimiento tales como el sistema de locomoción por tracción diferencial, el cual será definido y explicado líneas abajo. Skid-Steer, Ackerman, Triciclo, Síncrono y Omnidireccionales. Se mostrará las principales características de cada uno de estos sistemas de locomoción (ver figura 7).

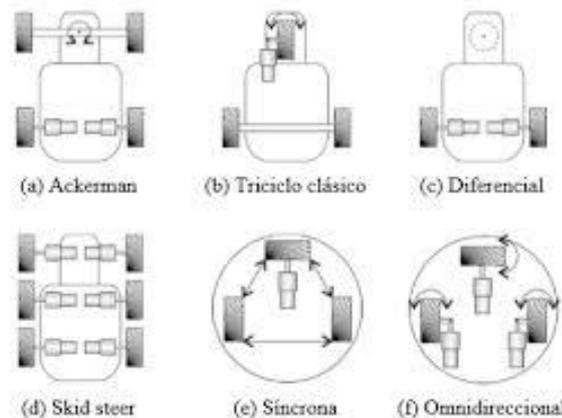


Figura 7. Sistemas de Tracción

Fuente: “Locomoción con Ruedas”, por Hernández J, (2015)

2.3.3.2. Locomoción con Orugas

Este tipo de locomoción, en vez de usar ruedas utiliza fajas, cintas u orugas para el desplazamiento. Estas tienen un comportamiento similar a las ruedas de gran diámetro. El principio de funcionamiento de los robots tipo oruga es análogo al de los robots de configuración diferencial, por lo cual el control y sentido de giro se consiguen mediante la variación de velocidad y sentido de giro (ver figura 8).



Figura 8. Robot móvil con tracción por Orugas o Fajas
 Fuente: “Tractor Oruga”, por Wikipedia, (2015)

El sistema de locomoción con orugas proporciona un buen rendimiento en terrenos irregulares, en donde el uso de ruedas puede generar dificultades para evitar o sobrepasar ciertos obstáculos.

2.3.3.3. Sistema de locomoción por tracción diferencial

Es la configuración más utilizada por su sencillez. La tracción diferencial, consta de dos ruedas motrices montadas en un eje común, pero movidas por motores independientes, una o dos ruedas libres o locas y ninguna rueda directriz. El vehículo teleoperador podrá realizar movimientos hacia adelante o hacia atrás cuando las ruedas giren en el mismo sentido, pero para realizar giros es necesario que las ruedas giren a velocidades diferentes. Esta habilidad es especialmente útil si el móvil se encuentra atrapado en una superficie a desnivel, tal como se visualiza en la figura 9.

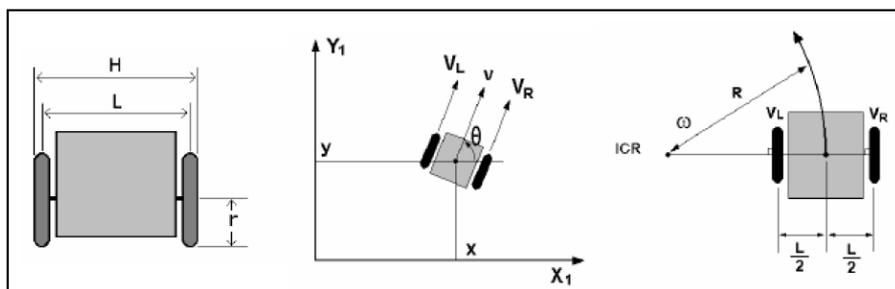


Figura 9. Sistema de tracción Diferencial.
 Fuente: “The robotic institute”, por Trujillo B, (2015)

Para lograr el movimiento del robot móvil es necesario utilizar ciertos componentes, explicados a continuación, que permitirán que las ruedas de esté giren.

2.3.3.4. Motores de corriente continua (CC)

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica continua en mecánica, provocando un movimiento rotatorio. Su fácil control de posición, paro y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en control y automatización. La principal característica de estos es, la posibilidad de regular desde varias velocidades hasta a una a plena carga por medio de la modulación por ancho de pulsos (PWM) (ver figura 10).



Figura 10. Motores de corriente continua

Fuente: “Motores de Corriente Continua”, por Wikipedia, (2019)

Estos motores necesitan de energía eléctrica para que funcionen y genere energía mecánica rotacional, para el caso es necesario utilizar baterías capaces de entregar la cantidad de corriente que estos consumen.

2.3.4. Baterías de Polímero de Litio (LiPo)

Como cualquier dispositivo actual cuenta con un sistema de alimentación el cual provee de energía eléctrica a todo el sistema. BreekoGreek (2010) afirma: “Esto significa que, son una variación de las baterías de iones de litio (Li-ion) pero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior”. (p.6)

Tal como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Batería LIPO

Fuente: "Todo sobre las LIPO", por Wikipedia, (s.f.)

Cada celda tiene un voltaje nominal de 3,7 V, voltaje máximo 4,2 y mínimo 3,0. Este último debe respetarse rigurosamente ya que la batería se dañaría si el voltaje va por debajo de los 3 voltios.

Se suele establecer la siguiente nomenclatura XSYP que significa X celdas en serie, e Y en paralelo. Por ejemplo, 3s2p son 2 baterías en paralelo, donde cada una tiene 3 celdas o células. Esta configuración se consigue conectando ambas baterías con un cable paralelo.

2.3.4.1.1. Ventajas

- Mayor densidad de carga, por lo tanto, tamaño reducido.
- Buena tasa de descarga, muy superior a las de iones de litio.

2.3.4.1.2. Desventajas

- Quedan casi inutilizadas si se descargan por debajo del mínimo de 3 voltios.

2.3.5. Teleoperación

La radiofrecuencia, en definitiva, es la parte del espectro electromagnético que abarca desde los 3 kilohercios hasta los 300 gigahercios. Estas frecuencias se utilizan para las comunicaciones militares, la navegación, los radares y la radiofonía AM y FM, por citar algunas posibilidades (ver figura 12).

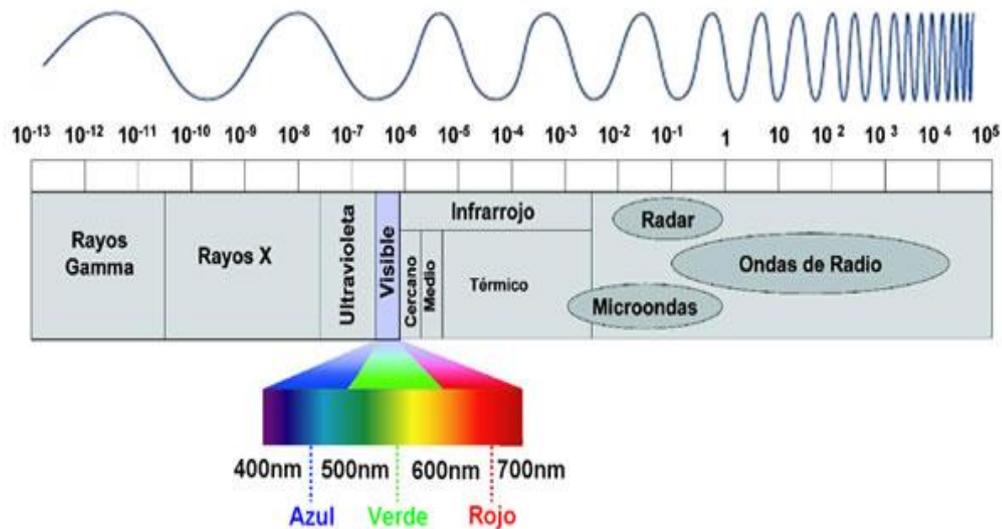


Figura 12. Espectro de ondas

Fuente: "Espectro Electromagnético", por Cristo A, (2009)

Dentro de la radiofrecuencia también es posible establecer diferentes divisiones de acuerdo con las particularidades de las frecuencias. En este sentido, se puede hablar desde frecuencias extremadamente bajas hasta frecuencias extremadamente altas, pasando por otros tipos de frecuencias en el medio.

La radiofonía de amplitud modulada (AM), por ejemplo, transmite en media frecuencia. La radiofonía de frecuencia modulada (FM), en cambio, realiza su transmisión en muy alta frecuencia. Las diferentes frecuencias determinan el alcance de las ondas y la calidad de la transmisión, entre otras cuestiones. Los radios AM, en este sentido, pueden llegar con sus señales a mayores distancias en comparación con los radios FM.

2.3.5.1. Protocolos de comunicación

El protocolo de comunicación es una convención o estándar que permite la conexión, comunicación y la transferencia de datos entre dos puntos finales.

A continuación, se explicarán los protocolos de comunicación más comunes usados en la robótica.

2.3.5.1.1. Variación por ancho de pulso (PWM)

La variación o modulación por ancho de pulsos, también conocida del inglés como PWM, una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal senoidal o cuadrada con el fin de poder transmitir información a través de un canal de comunicaciones.

Existen muchos usos de las señales PWM, unas para el uso de regulación de velocidad en motores eléctricos de inducción o asíncronos; como parte de un conversor ADC y para transmisión de datos entre dos (02) dispositivos.

Para lograr la transmisión de datos mediante la modulación de ancho de pulso, se debe regular el ciclo de trabajo aproximadamente de 1000 y 2000 us. Se aprecia un gráfico explicando las principales características que tiene una señal modulada (ver figura 13).

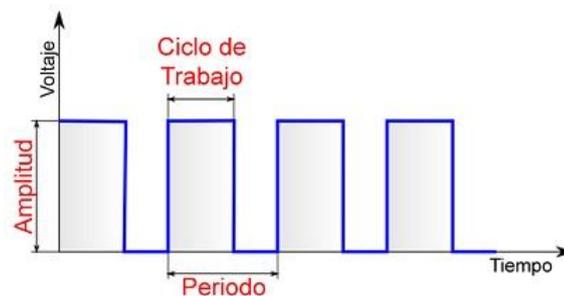


Figura 13. Modulación por ancho de pulso

Fuente: “Modulación de ancho de pulso“, por MecanicAPP, (2017)

Una de las principales desventajas de este protocolo de comunicación es que es necesario contar con canales independientes de lectura es decir el dimensionamiento del controlador deberá contar con la cantidad de entradas digitales para el control de más de una variable.

2.3.5.1.2. Modulación por código de pulso (PCM)

Perez (s.f) indica lo siguiente: “La modulación por código de pulso funciona al sistema PPM. En este caso la señal es digital. Se supone que este sistema evita posibles problemas de errores o fallas en las señales”. (p.1)

2.3.5.1.3. Modulación por posición de pulso (PPM)

La modulación por posición de pulso, o de sus siglas en ingles PPM, en donde la amplitud y el ancho de banda son fijos y la posición variable, es un tipo de modulación en la cual una palabra de X bits es codificada para la transmisión de un único pulso separadas por un periodo de tiempo conocido (ver figura 14).

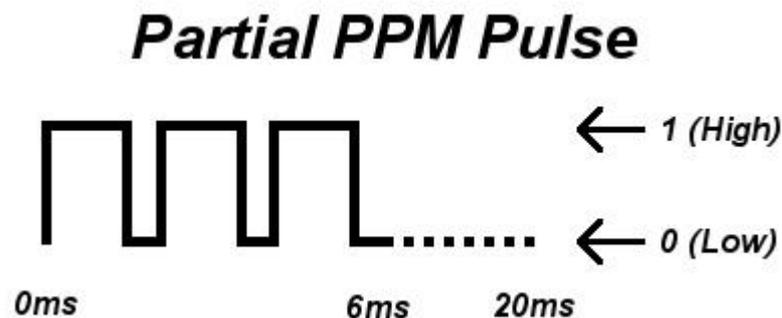


Figura 14. Señal parcial de una onda Modulada
Fuente: “Onda Modulada”, por Gonzales, (s.f.)

La modulación por posición de pulso (PPM) permite transmitir hasta 8 canales usando un solo puerto, es posible transmitir más información; sin embargo, el tiempo de lectura para el nuevo paquete de datos tendrá mucha demora y probablemente pérdida de información.

Una de las principales ventajas de este protocolo de comunicación son las siguientes:

- Alta inmunidad al ruido
- Se puede distinguir fácilmente la señal pulso del ruido en amplitud

Una de las desventajas de este protocolo es que el proceso y la circuitería de detección son más complejos.

2.3.5.2. Telemetría

Telemetría es una técnica automatizada de las comunicaciones. Con esta técnica es posible obtener mediciones y recopilación de datos en lugares remotos. Esta técnica utiliza principalmente transmisión inalámbrica (ver figura 15).

Australtech (s.f) indica lo siguiente: “Los usos más importantes de telemetría incluyen en la recopilación de datos del clima, supervisión de plantas de generación de energía y hacer el seguimiento de vuelos espaciales tripulado y no tripulados. (p.1)

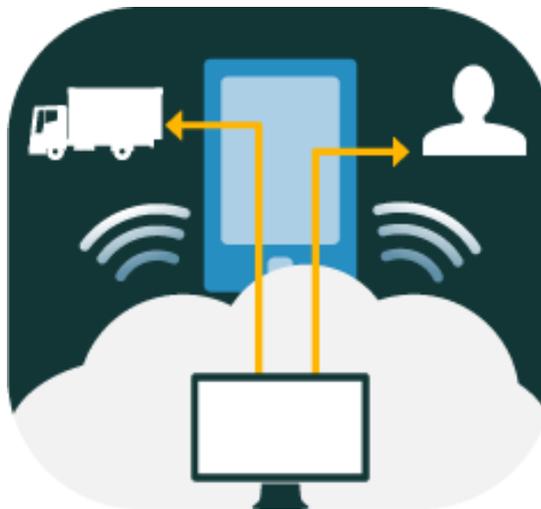


Figura 15. Usos de la telemetría

Fuente: “Telemetría”, por Grupo B, (s.f.)

2.3.6. Gases Tóxicos

Existen muchos tipos de gases que contaminan, los mares, el medio ambiente en general nuestro planeta. Las industrias, son la principal fuente de contaminación de gases (ver figura 16). Ecured (s.f) indica lo siguiente: “La difusión de humos o gases a la Atmósfera es perjudicial para el Medio ambiente y la vida diaria. Una enfermedad ambiental puede afectar al Sistema Respiratorio, al sistema cardiovascular, al Sistema nervioso y a la Piel”. (p.1)



Figura 16. Emisión de gases toxico al medio ambiente

Fuente: “Gases Toxicos”, por Ecured, (s.f.)

El desarrollo y progreso tecnológico ha originado diversas formas de contaminación, los cuales alteran el equilibrio físico y mental del ser humano. Los principales gases tóxicos que se puede encontrar en un espacio confinado son listados a continuación.

2.3.6.1. **Dioxígeno (O₂)**

El Oxígeno es el elemento Nro. 8 de la tabla periódica de los elementos químicos. Su composición molecular de O₂ (Dioxígeno) se formado por moléculas diatómicas. Tal como se muestra en la figura 17.



Figura 17. Composición O₂

Fuente: “Oxígeno Molecular”, por Mario Molina, (s.f.)

Este componente es fundamental para la existencia del ser humano, sin embargo, la escasez o el enriquecimiento de este componente puede afectar a la persona causándole la muerte. Los valores normales y las posibles consecuencias que puede ocasionar este componente se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Valores permisibles del Dioxígeno O2

Dioxígeno O2	%	Peligro
Rango de deficiencia	<19.5	Asfixia
Rango de valor elevado	>22.5	Atmosfera Explosiva

Fuente: “Limites Dioxigeno”, por Decreto Supremo 023-2016 Anexo 15”, (2016)

2.3.6.2. Ácido sulfhídrico (H₂S)

El ácido sulfhídrico (H₂S), su composición química se muestra gráficamente en la figura 18, es un gas incoloro inflamable, de sabor algo dulce y olor a huevos podridos; en altas concentraciones puede ser venenoso. Otros nombres con los que se conoce incluyen ácido hidrosulfúrico, gas de alcantarilla y sulfuro de hidrógeno. Generalmente se puede detectar el olor a bajas concentraciones en el aire, entre 0.0005 y 0.3 partes por millón (ppm) (0.0005 a 0.3 partes de ácido sulfhídrico en 1 millón de partes de aire). Sin embargo, en altas concentraciones, una persona puede perder la capacidad para olerlo. Esto puede hacer al ácido sulfhídrico muy peligroso. (Lidefer, s.f)

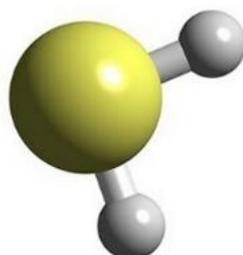


Figura 18. Composición del Ácido Sulfhídrico (H₂S)

Fuente: “Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)”, por Wikipedia, (s.f.)

La escasez o la abundancia de este componente puede afectar a la persona causándole la muerte. Los valores normales y las posibles consecuencias que puede ocasionar este componente se muestran en la tabla 3.

Tabla 3 Valores permisibles del Ácido sulfhídrico (H₂S)

Ácido sulfhídrico (H₂S)	ppm
Rango de deficiencia	<10
Rango de valor elevado	>15

Fuente: “Limites Ácido Sulfhídrico”, por Decreto Supremo 023-2016 Anexo 15”, (2016)

2.3.6.3. Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono, también denominado óxido de carbono, gas carbonoso y anhídrido carbonoso, cuya fórmula química es CO, como se muestra en la figura 19, es un gas incoloro y altamente tóxico. Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados. Se produce por la combustión deficiente de sustancias como gas, gasolina, queroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera.

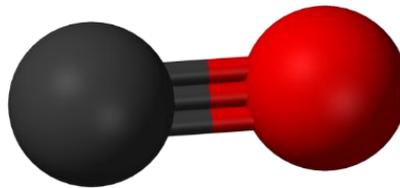


Figura 19. Composición del Monóxido de Carbono (CO)

Fuente: “Intoxicacion por monoxido de carbono”, por Wikipedia, (s.f.)

La escasez o la abundancia de este componente puede afectar a la persona causándole la muerte. Los valores normales y las posibles consecuencias que puede ocasionar este componente se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 Valores permisibles del Monóxido de Carbono (CO)

Monóxido de Carbono (CO)	ppm
Rango de deficiencia	<25
Rango de valor elevado	>50

Fuente: “Límites Monóxido de Carbono”, por Decreto Supremo 023-2016 Anexo 15”, (2016)

2.3.6.4. Dióxido de Carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (fórmula química CO₂) es un gas incoloro y vital para la vida en la Tierra. Este compuesto químico se encuentra en la naturaleza y está compuesto de un átomo de carbono unido con enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. El CO₂ existe en la atmósfera de la Tierra como gas traza a una concentración de alrededor de 0,04 % (400 ppm) en volumen (ver figura 20).

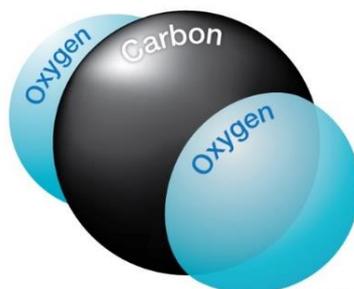


Figura 20. Composición grafica del Dióxido de Carbono (CO₂)

Fuente: “Cambio climatico global”, por Wikipedia, (s.f.)

La escasez o la abundancia de este componente puede afectar a la persona causándole la muerte. Los valores normales y las posibles consecuencias que puede ocasionar este componente se muestran en la tabla 5. Dióxido de Carbono (CO₂).

Tabla 5 Valores permisibles del Dióxido de Carbono (CO₂)

Dióxido de Carbono (CO₂)	%
Rango de deficiencia	<0.5
Rango de valor elevado	>1.5

Fuente: “Limites Dióxido de Carbono”, por Decreto Supremo 023-2016 Anexo 15, (2016)

2.3.6.5. Amoniaco (NH₃)

El amoníaco, amoniaco, azano, espíritu de Hartshorn o gas de amonio es un compuesto químico de nitrógeno con la fórmula química NH₃. Es un gas incoloro con un característico olor repulsivo. El amoníaco contribuye significativamente a las necesidades nutricionales de los organismos terrestres por ser un precursor de fertilizantes.

La escasez o la abundancia de este componente puede afectar a la persona causándole la muerte. Los valores normales y las posibles consecuencias que puede ocasionar este componente son irritación del tracto respiratorio, tos y dolor de pecho. Además, puede causar quemaduras. Los valores permisibles se muestran en la tabla 6.

Tabla 6 Valores permisibles del Amoniaco (NH₃)

Amoniaco (NH₃)	%
Rango de deficiencia	<25
Rango de valor elevado	>35

Fuente: ““Limites Amoniaco”, por Decreto Supremo 023-2016 Anexo 15,(2016)

2.3.6.6. Dióxido de azufre (SO₂)

El Dióxido de azufre es un gas incoloro, irritante, con un olor penetrante que se comienza a percibir con 0,3 a 1,4 ppm y es perfectamente distinguible a partir de 3 ppm -partes por millón-. Su densidad es el doble que la del aire. No es un gas inflamable, ni explosivo y tiene mucha estabilidad, es muy soluble en agua y en contacto con ella se convierte en ácido sulfúrico. Consiste en un átomo de azufre y dos de oxígeno.

El dióxido de azufre (SO₂) también se ha asociado a problemas de asma y bronquitis crónica, aumentando la morbilidad y mortalidad en personas mayores y niños. Los asmáticos y las personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) y con problemas cardíacos son los más sensibles a los efectos del SO₂. Los valores permisibles se muestran en la tabla 7.

Tabla 7 Valores permisibles del Dióxido de Azufre (SO₂)

Dióxido de Azufre (SO₂)	%
Rango de deficiencia	<2
Rango de valor elevado	>5

Fuente: ““Límites Dióxido de Azufre”, por Decreto Supremo 023-2016 Anexo 15,(2016)

2.3.6.7. Gases combustibles (GC)

Linde (2017) afirma:” Un gas combustible, es aquel gas que es usado como combustible mediante un proceso de combustión, en la figura 21 se muestra un ejemplo gráfico de la utilización de estos componentes”. (p.1)

Los principales gases combustibles son:

- Metano
- Propano
- Butano



Figura 21. Combustión de un gas combustible
Fuente: “Gas Combustibles”, por Linde, (2017)

2.3.7. Sensores para medición de gases

Para el desarrollo del proyecto de tesis se usarán diferentes sensores capaces de detectar los gases en espacios confinados.

2.3.7.1. Sensor Catalítico (Gases Combustibles)

Utiliza una perla catalítica para oxidar el gas combustible; un Puente de Wheatstone que convierte el cambio resultante en la resistencia en una señal. Este sensor es capaz de niveles de CH₄ con una resolución de 0.05%, tal como se muestra en la figura 22.

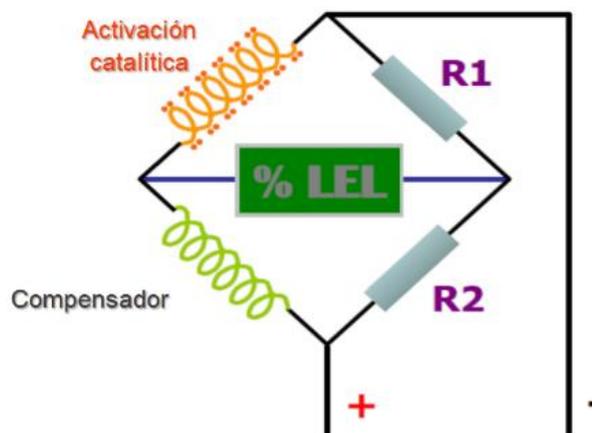


Figura 22. Puente Wheatstone
Fuente: “Circuitos Operacionales”, por Wikipedia, (s.f.)

2.3.7.2. Sensor Electroquímico

Este sensor utiliza una reacción electroquímica para generar una corriente proporcional a la concentración de gas existente en su encapsulado. Este sensor es capaz de detectar hasta un 30% de oxígeno, 2000 ppm de monóxido de carbono y 200 ppm de ácido sulfhídrico (ver figura 23).

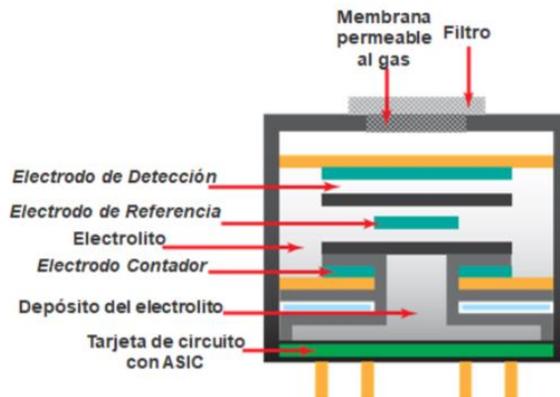


Figura 23. Arquitectura de funcionamiento del Sensor Electroquímico

Fuente: "Sensores Electroquímicos", por Wikipedia, (s.f.)

2.3.7.3. Sensor infrarrojo para CO₂

Una lámpara infrarroja, dirige las ondas de luz a través de un tubo lleno de una muestra de aire hacia un filtro óptico frente a un detector de luz IR. El detector de luz IR mide la cantidad de luz IR que pasa a través del filtro óptico (ver figura 24).

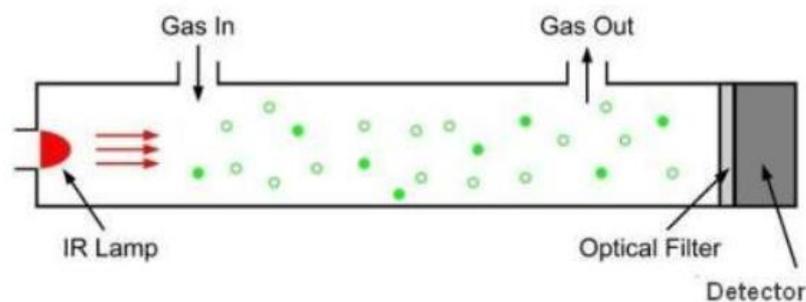


Figura 24. Funcionamiento del sensor Óptico CO₂

Fuente: "Cómo funciona un sensor de CO₂", por Wikipedia, (2019)

2.3.8. Espacios confinados

Según a el sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional (sus siglas en ingles OSHAS) los espacios confinados son definidos de la siguiente manera, espacio de trabajo con la capacidad de albergar a una sola persona, para que realice un trabajo, los accesos son restringidos y limitados (un acceso/salida), la edificación construcción no está diseñada para que sea ocupada continuamente (ver figura 25).



Figura 25. Medición de gases en espacios confinados
Fuente: “Espacios Confinados”, por Espinoza M, (s.f.)

Estos espacios, en su mayoría, albergan gases tóxicos haciendo que este lugar tenga una atmosfera peligrosa y atenten contra la seguridad y la salud del operario.

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL VEHICULO TELEOPERADO

En el presente capítulo, se describe el diseño de un vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos en espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa, el cual, aparte de tener la facultad de controlar el robot móvil, es capaz recopilar información respecto a seis (06) gases nocivos para el ser humano, procesarlo y transmitirlo en tiempo real.

Las principales actividades que se puede realizar el vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos son los siguientes:

- Acceso a espacios confinados.
- Asegurar la integridad de los trabajadores de la compañía minera del sur del Perú.
- Reducen la cantidad de peligro, riesgos y accidentes debido a la posibilidad de un mal análisis de gases
- El vehículo teleoperado es muy intuitivo y amigable al usuario.

Para que este sistema haya sido realizado y desarrollado correctamente, es fundamental que la presente tesis cumpla con todas las tareas para las cuales fue diseñado y programado. Además, es importante que el vehículo teleoperado cuente con un sistema que le permita adaptarse a nuevos entornos.

A continuación, se describe el diseño del vehículo teleoperado capaz de medir seis (06) gases diferentes: Estructuras mecánicas, sistema electrónico, sistema de alimentación, arreglo de sensores, lectura de datos analógicos, control de actuadores, programación de los microcontroladores en el circuito de control, programación del microcontrolador.

3.1. Condiciones iniciales

El vehículo teleoperado cumple con la finalidad de desarrollar de manera exitosa las actividades planteadas en la presente tesis con las siguientes características funcionales:

- Capacidad de carga de 10 kg de peso ya que con esto podrá desplazarse por cualquier terreno.

- Robot con tracción tipo oruga para sobrepasar cualquier obstáculo o terreno uniforme.
- Cuenta con seis (06) sensores capaces de detectar gases nocivos para el ser humano.
- Móvil con tracción diferencial y locomoción tipo oruga para superar obstáculos y terrenos agrestes.
- Equipado con un sistema de visión en primera persona (FPV) para poder simular la operación local del móvil.
- El diseño del móvil contempla el uso de aluminio como parte del cuerpo y otras estructuras, esto se debe a que el aluminio es un metal liviano, resistente y no se oxida. Además, ciertas piezas serán diseñadas con plástico ABS que posee una alta resistencia y peso muy bajo.

3.2. Diseño Mecánico

El diseño del vehículo móvil está dividido en 2 partes:

- Diseño del cuerpo del móvil: El cual contendrá los circuitos electrónicos, sistema de alimentación (Baterías), actuadores eléctricos y sensores.
- Diseño del sistema de tracción diferencial tipo Oruga: en él se presenta el diseño, calculo y consideraciones tomadas para el desarrollo del sistema de tracción (ver figura 26).

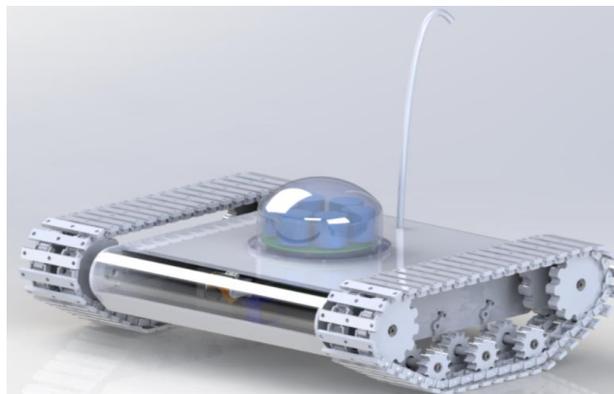


Figura 26. Diseño mecánico del vehículo teleoperado

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1. Diseño del cuerpo del móvil

El diseño del cuerpo del móvil cuenta con cuatro partes que contiene a las baterías, circuito electrónico, motores, servomotores y demás componentes para el control y transmisión de datos (ver figura 27).

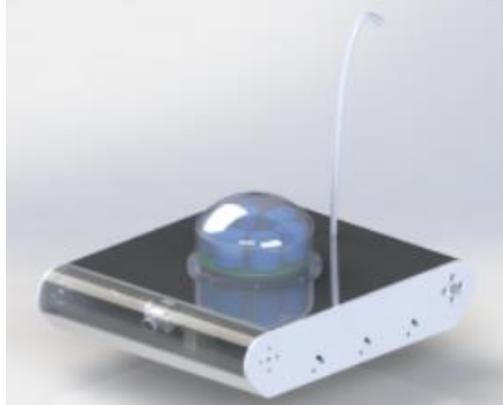


Figura 27. Vista en 3D del cuerpo del Móvil

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.1. Soporte de componentes electrónicos

El soporte de los componentes electrónicos no solo soporta dichos componentes sino también al sistema de “Pan and tilt”, el cual será explicado más adelante, baterías y demás componentes, en la figura se muestra la distribución de componentes del soporte de componente electrónicos (ver figura 28).

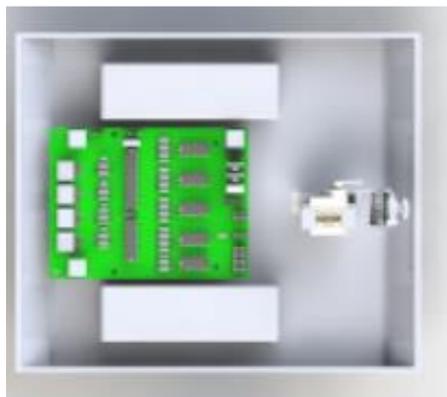


Figura 28. Vista superior del soporte de componentes electrónicos

Fuente: Elaboración Propia.

Para el correcto diseño y dimensionamiento del soporte de los componentes electrónicos, se tuvo que diseñar y elaborar la tarjeta electrónica, la cual será explicada en la sección 3.4, tal como se muestra en la figura 29.

Esta tarjeta electrónica presenta las siguientes dimensiones, ver tabla 8.

Tabla 8 Dimensiones de la placa electrónica principal

Dimensiones	Mm
Largo	116.84
Ancho	88.9
Alto	28.62

Fuente: Elaboración Propia

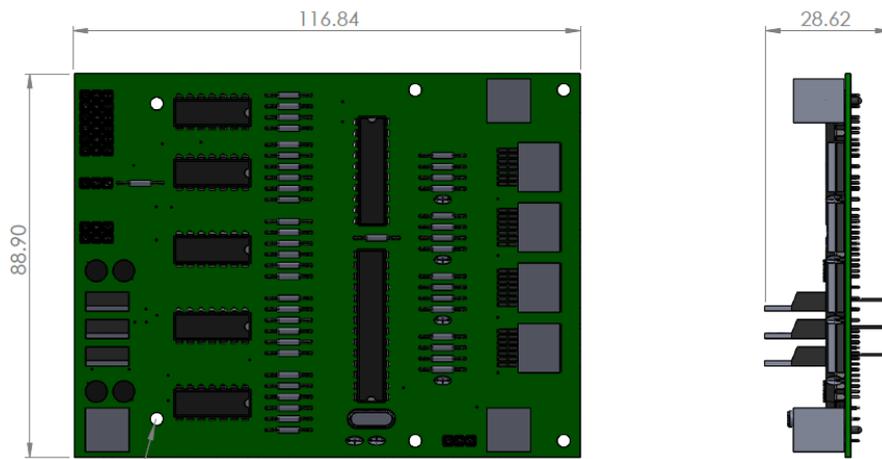


Figura 29. Dimensiones de Placa electrónica principal

Fuente: Elaboración propia

Las baterías (ver figura 30), según su hoja de datos presentan las siguientes dimensiones, ver tabla 9.

Tabla 9 Dimensiones de la batería

Dimensiones	Mm
Largo	105
Ancho	35
Alto	24

Fuente: Elaboración Propia

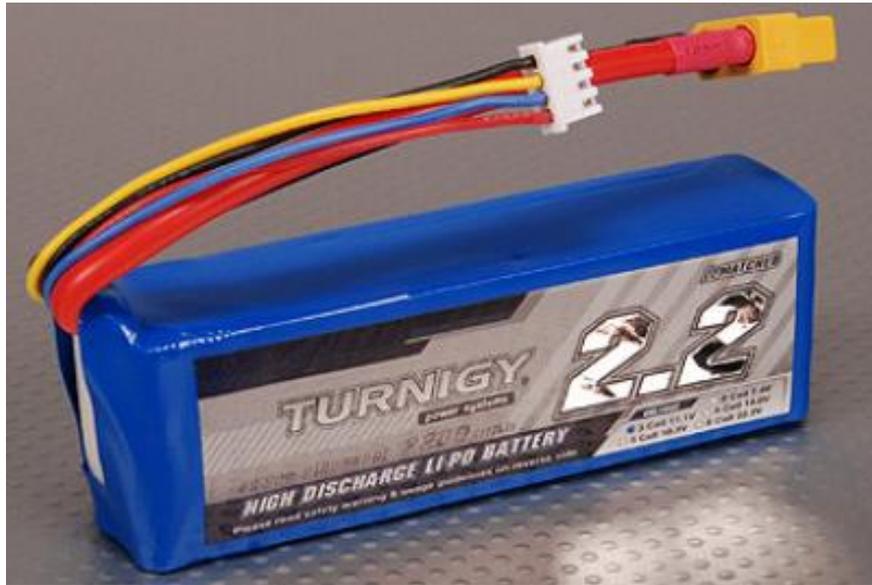


Figura 30. Batería seleccionada para la aplicación
Fuente: “Cargadores de batería”, (s.f.)

Además, se tuvo en consideración los grados de movimientos disponible por el sistema de visión en primera persona (ver figura 31).

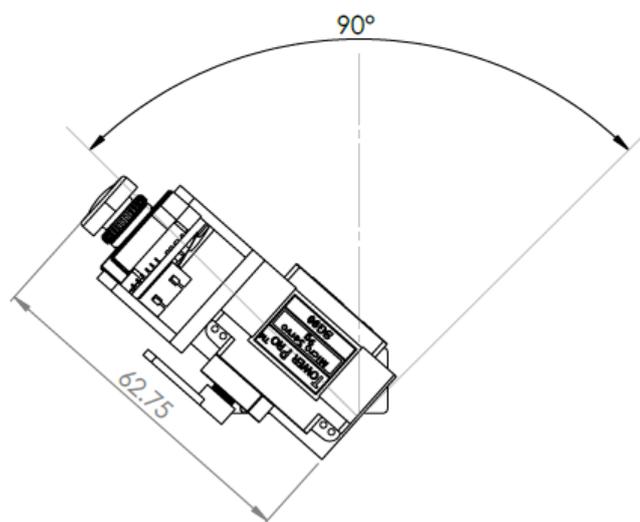


Figura 31. Radio de acción del sistema de visión en primera persona
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo las dimensiones (ver figura 32) para la vista en planta y (ver figura 33) para la vista en sección, de los principales componentes que soporta la estructura de la base se diseñó la base del móvil con las siguientes dimensiones, ver tabla 10.

Tabla 10 Dimensiones de la estructura base

Dimensiones	mm
Largo 1	238.07
Largo 2	191.72
Ancho	200
Alto	20
Profundidad de Plancha	3

Fuente: Elaboración propia

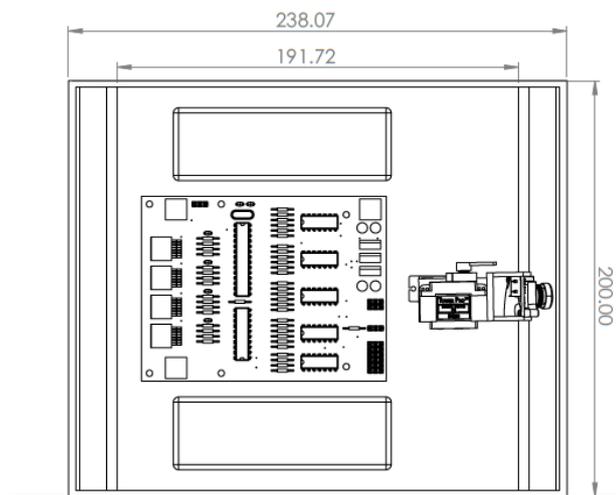


Figura 32. Dimensiones de la base del móvil – Vista superior

Fuente: Elaboración Propia

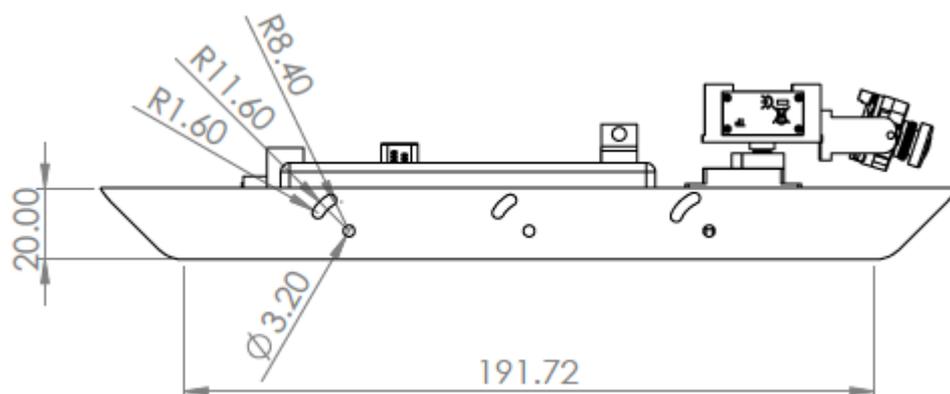


Figura 33. Dimensiones de la base del móvil – vista Lateral

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Soporte Laterales

El vehículo teleoperado cuenta con dos (02) soportes laterales. Estos sirven como ejes de soporte para los motores y los engranajes. se muestra una vista frontal del soporte lateral (ver figuras 34 y 35).

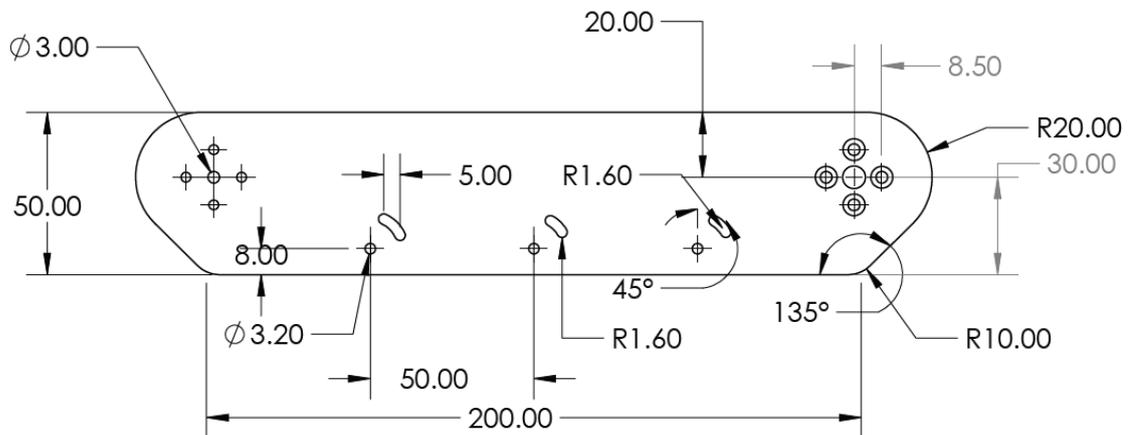


Figura 34. Dimensiones de la lateral Izquierdo del móvil – vista frontal

Fuente: Elaboración propia

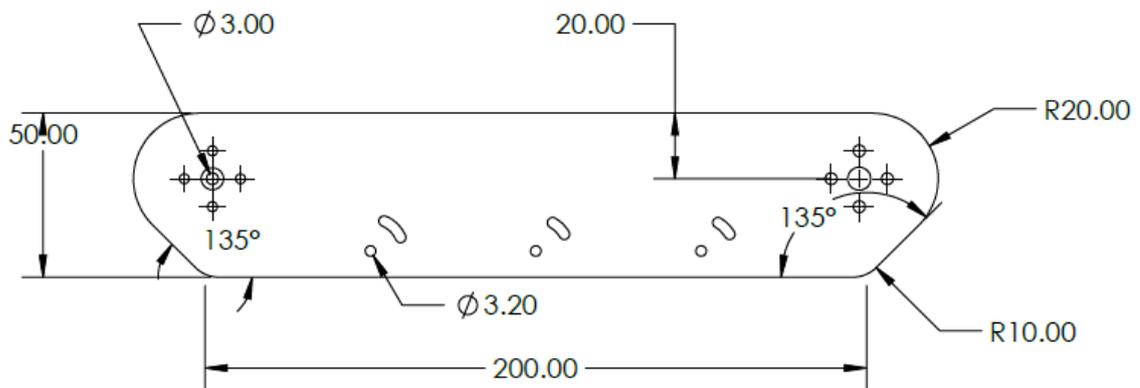


Figura 35. Dimensiones de la lateral Derecho del móvil – vista frontal

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Cubierta del móvil

Para proteger todo los componentes electrónicos y baterías del vehículo móvil se diseña un cobertor del móvil (ver figura 36).

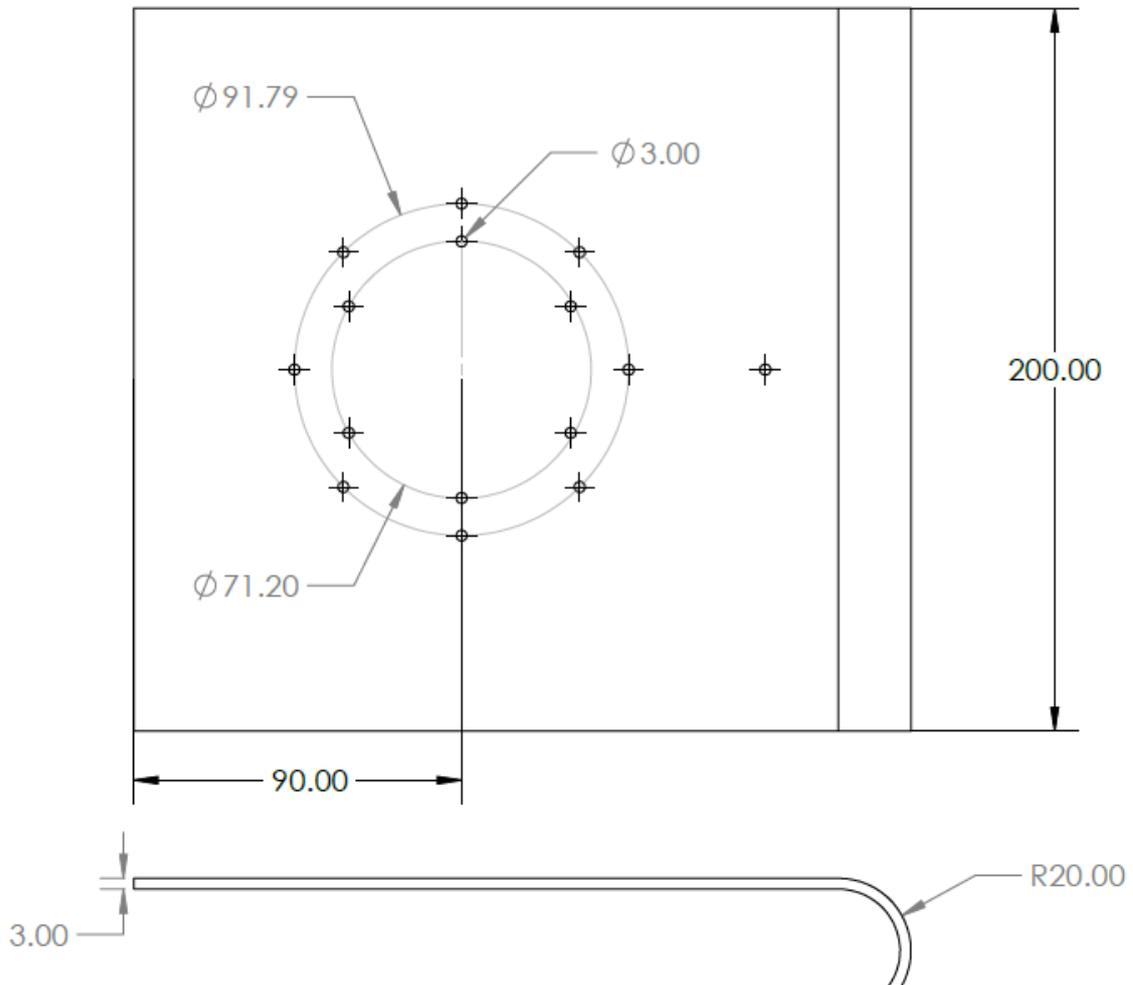


Figura 36. Dimensiones de la lateral Izquierdo del móvil – vista frontal

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Cubierta de Sensores

La cubierta de los sensores, principalmente tienen la función de proteger a estos, en este cobertor se cuenta con agujeros para que los gases en el ambiente puedan ser sensados por los instrumentos de medición. Se muestra una vista isométrica del cobertor de sensores (ver figura 37).

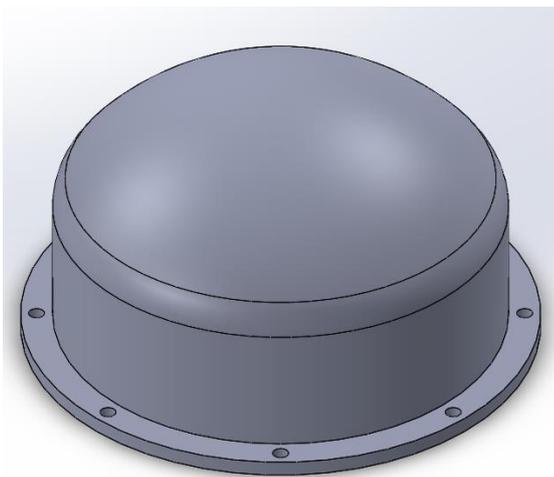


Figura 37. Vista Isométrica del cobertor de los sensores

Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Sistema de tracción diferencial

El sistema de tracción diferencial consta de 2 ruedas que giran independientemente, es decir, cada una puede girar hacia el mismo sentido o en sentido contrario. Se muestra el vehículo móvil con dos (02) motores independientes que se encargan de mover al vehículo móvil (ver figura 38).

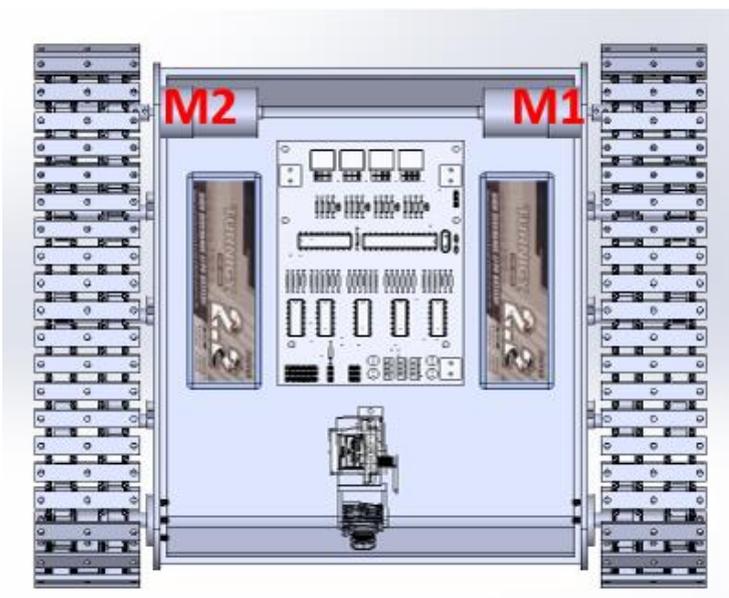


Figura 38. Disposición del Sistema de tracción diferencial

Fuente: Elaboración propia

Esta configuración permite realizar giros en diferentes direcciones desde el centro de gravedad del sistema (ver figura 39).

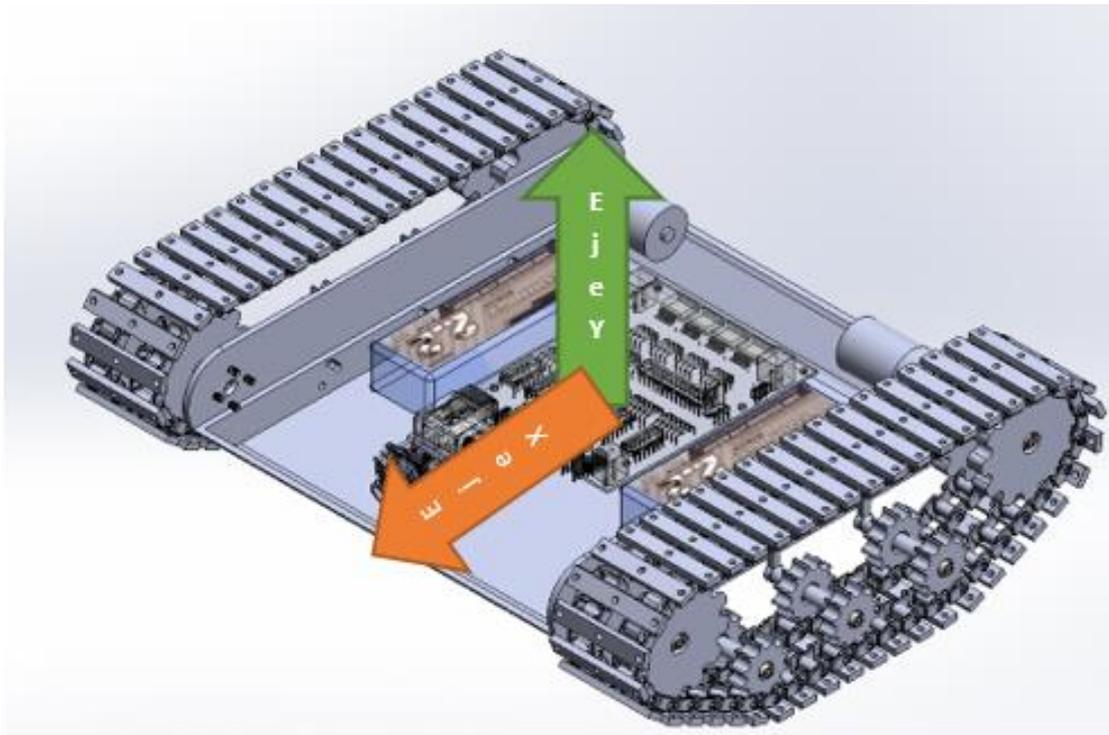


Figura 39. Centro de Gravedad del Móvil

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.1. Modelamiento matemático de un sistema con tracción diferencial

En esta sección se explica el modelamiento matemático de un sistema móvil de dos ruedas independientes o de tracción diferencial, el cual sirve como base teórica para la sustentación en la obtención de las variables de control, como la velocidad a las que se desplaza y la posición que tendrá el móvil con la tracción diferencial.

Se presenta un esquema simplificado de un sistema móvil de dos ruedas de tracción diferencial (ver figura 40).

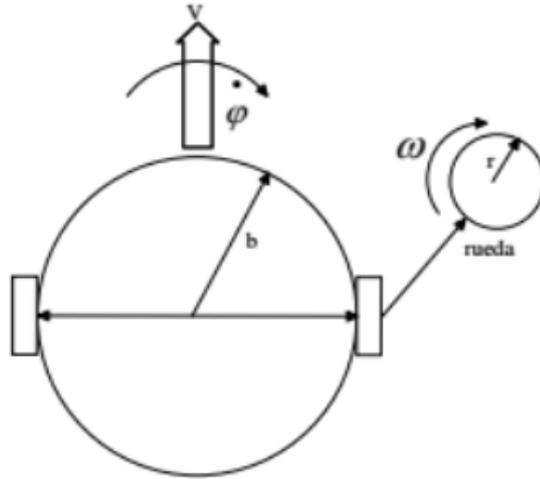


Figura 40. Móvil de dos ruedas

Fuente: “Ruedas Móviles”, (s.f.)

Los parámetros físicos del móvil como las variables dinámicas. Los parámetros físicos son: la longitud entre ruedas ($2b$); el radio de cada rueda (r_1 y r_2); la masa de todo el sistema (M) y la masa de cada rueda (m). Las variables dinámicas son las siguientes: la velocidad del sistema (V); la velocidad angular que posee el cuerpo (φ) y las velocidades angulares de las ruedas, $\omega_1 = \varphi_1$ para la rueda de la derecha y $\omega_2 = \varphi_2$ para la rueda de la izquierda (ver figura 41).

Asimismo, se debe considerar, entre las variables dinámicas, la posición absoluta del robot en el espacio. Esta queda definida por las coordenadas bidimensionales del centro de masa (X, Y) y el ángulo entre la dirección de movimiento del sistema móvil.

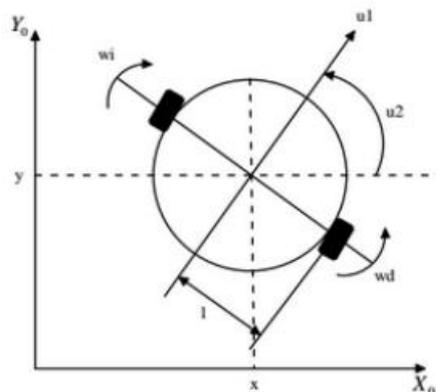


Figura 41. Localización en el plano cartesiano del móvil

Fuente: “Plano Cartesiano del móvil”, (s.f.)

3.2.5.2. Ecuaciones Cinemáticas

Estas ecuaciones, relacionan directamente la velocidad de giro de cada rueda con la posición del móvil: x , y , φ .

Si se considera al móvil como un cuerpo rígido, la velocidad lineal del centro de masa se obtiene a partir del promedio de las velocidades lineales de cada una de sus ruedas. Esta última, se obtiene como el producto de la velocidad angular (velocidad al girar) y el radio de cada una de ellas. Muir (1988)

En la ecuación 1 se define la velocidad del centro de masa de la siguiente manera:

$$V = \frac{r * (\theta_1 + \theta_2)}{2} \quad (1)$$

Donde:

V : Velocidad del centro de masa.

θ_1 : Ángulo de giro 1.

θ_2 : Ángulo de giro 2.

El Ángulo de giro del móvil se obtiene a partir de las relaciones geométricas entre el movimiento de cada rueda (ver figura 42).

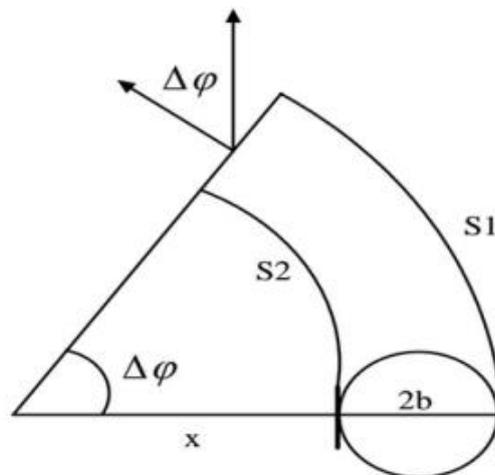


Figura 42. Relaciones geométricas para el ángulo de giro

Fuente: "Relaciones geométricas", (s.f.)

Como se observa en la figura, el ángulo de giro del sistema móvil es igual al ángulo del arco sostenido por la trayectoria. Además, por definición, el ángulo de dirección del móvil (φ) aumenta en sentido anti horario. Muir (1988)

En las siguientes ecuaciones 2 y 3, se observan el ángulo de giro de las ruedas de cada motor.

$$\omega_1 = \frac{v_1}{2 * \pi * r_1} \quad (2)$$

$$\omega_2 = \frac{v_2}{2 * \pi * r_2} \quad (3)$$

Donde:

ω : Ángulo de giro de la rueda derecha.

v: Velocidad de la rueda derecha.

r: Radio de la rueda derecha.

Luego se debe descomponer la velocidad lineal del móvil en las velocidades asociadas a cada eje del plano para poder obtener las ecuaciones 4 y 5 que se muestran las coordenadas de posición.

$$x = V * \text{Cos}(\varphi) \quad (4)$$

$$y = V * \text{Sen}(\varphi) \quad (5)$$

Donde:

x: Velocidad lineal en el eje X.

y: Velocidad lineal en el eje Y.

φ : Ángulo de giro.

3.2.5.3. Ecuaciones Dinámicas

Debido a que el sistema está compuesto por dos motores DC, el proceso de construcción del modelo se inicia con la implementación del modelo matemático de los motores.

Se obtiene una función de transferencia del modelo del motor el cual es equivalente a un sistema real físico. Este se expresa matemáticamente de la siguiente manera, ecuación 6.

$$e = kv * \omega_m \quad (6)$$

$$T_1 = k_1 * I \quad (7)$$

Donde:

e: Fuerza electromotriz.

kv: Constante de fuerza electromotriz.

ω_m : velocidad Angular.

T1: Torque.

k1: Constante de torque.

I: Corriente del motor.

En la ecuación 7, se está representando la transformación de la energía eléctrica en voltios a velocidad angular. En la ecuación se define los requerimientos de corriente eléctrica causados por el par desarrollado.

Se debe tener en cuenta la obtención de la relación de transformación mecánica a través de los reductores de velocidad de los motores.

La relación de los engranajes se expresa en la ecuación 8:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{W_2}{W_m} = \frac{T_1}{T_2} \quad (8)$$

Donde:

e: Fuerza electromotriz.

k: Constante del motor.

ω_m : Ángulo de giro.

T1: Torque.

k1: Coeficiente de fricción.

I: Corriente del motor.

En la relación entre N1 y N2 (número de dientes del primario y del secundario) hay que tener en cuenta el rozamiento, el cual está representado por la letra b. esta constante se muestra en la siguiente ecuación 9.

$$T_t = b_{eq} * W_m \quad (9)$$

Donde:

Tt: Torque Total.

beq: Rozamiento total del sistema.

Wm: Velocidad angular.

Finalmente se obtiene la expresión que define al circuito eléctrico que alimenta al motor en la ecuación 10:

$$V - e = I * R + L \frac{dI}{dt} \quad (10)$$

Donde:

V: Velocidad.

e: Fuerza electromotriz.

L: Inductancia del Motor.

I: Corriente del motor.

R: Resistencia del motor.

I: Corriente del motor.

3.2.6. Diseño Engranaje dentado Mayor

Para poder transmitir la energía mecánica a todo el mecanismo, fue necesario diseñar y modelar engranajes que transmitan toda la rotación a todo el sistema.

El vehículo teleoperado consta principalmente dos tipos de engranajes, el primero, el engranaje dentado mayor y el segundo el engranaje dentado menor. En esta sección se explicará el primer tipo de engranaje.

Para poder modelar y diseñar un engranaje, primero se debió conocer la parte principales del engranaje, se muestra las partes de un engranaje y en la tabla 11 la descripción de todas sus partes (ver figura 43).

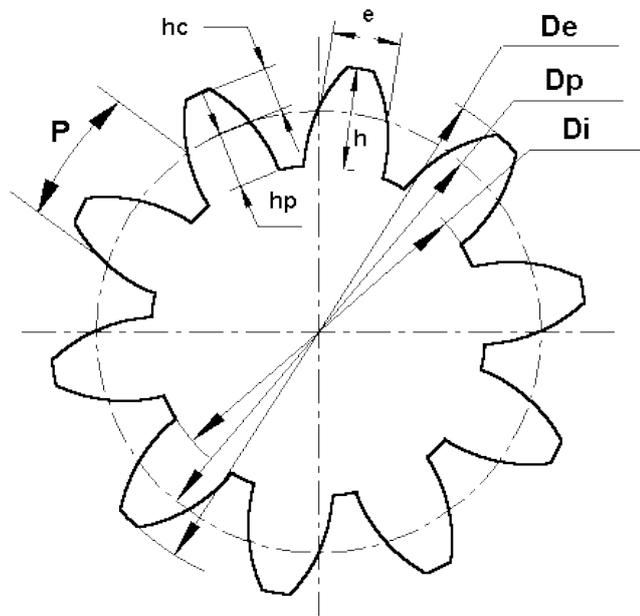


Figura 43. Partes del engranaje

Fuente: “Engranajes”, (s.f.)

Tabla 11 Las principales partes del engranaje de describen a continuación:

Terminología	Descripción
N	Numero de Dientes
d	Diámetro de Rodillo (mm)
P	Paso (mm)
a	Angulo del Engranaje (°)
Dp	Diámetro Primitivo (mm)
Di	Diámetro Interior (mm)
De	Diámetro Exterior(mm)
Der	Diámetro Ext. Recomendado (mm)

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.1. Circunferencia primitiva

Es aquella circunferencia la cual realiza la tangencia teórica del engranaje. En la figura 44, se muestra dos ruedas dentadas en las que se han graficado sus circunferencias primitivas.

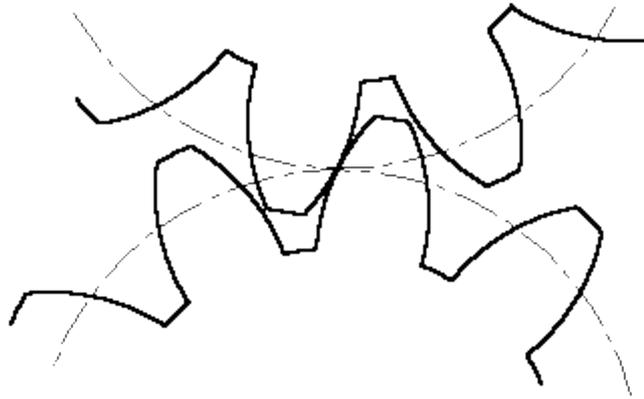


Figura 44. Partes del engranaje
Fuente: “Engranajes”, (s.f.)

3.2.6.2. Angulo del Engranaje

El ángulo del engranaje se calcula usando la ecuación 11.

$$a = 180/N \quad (11)$$

3.2.6.3. Diámetro primitivo (Dp)

Es el diámetro correspondiente a la circunferencia primitiva. Ver ecuación 12.

$$D_p = \frac{P}{\text{Sin}(a)} \quad (12)$$

3.2.6.4. Diámetro exterior (De)

También denominado diámetro total, es el correspondiente a la circunferencia en la cual está inscrita la rueda dentada. Ver ecuación 13

$$D_e = D_p + 0.63 * D \quad (13)$$

3.2.6.5. Diámetro interior (Di)

Conocido también como diámetro de fondo, es el correspondiente a la circunferencia que limita interiormente a los dientes. Ver ecuación 14.

$$D_i = D_p - D \quad (14)$$

3.2.6.6. Paso circular (P)

Es la distancia entre dos puntos homólogos de dos dientes consecutivos, medida sobre la circunferencia primitiva. Para que dos ruedas engranen ambas deben tener el mismo paso circular

3.2.6.7. Numero de dientes (N)

La cantidad de dientes que el engranaje a diseñar deberá contener.

3.2.6.8. Cálculo del engranaje mayor

Las consideraciones previas al cálculo de las dimensiones del engranaje se muestran en la siguiente tabla 12.

Tabla 12 Consideraciones para el cálculo del engranaje mayor

Descripción	Terminología	Valor
Numero de Dientes	N	24
Diámetro de Rodillo (mm)	d	5
Paso (mm)	P	13

Fuente: Elaboración Propia

Reemplazando los valores en la ecuación 11 se calcula el ángulo del engranaje:

$$a = \frac{180}{24}$$
$$a = 7.5$$

El cálculo para el diámetro primitivo para el engranaje mayor se tiene al resolver la ecuación 12.

$$D_p = \frac{13}{\sin(7.5)}$$

$$D_p = 99.6$$

El cálculo para el diámetro interior para el engranaje mayor se tiene al resolver la ecuación 14.

$$D_i = 99.5 - 5$$

$$D_i = 102.75$$

El cálculo para el diámetro exterior para el engranaje mayor se tiene al resolver la ecuación 13.

$$D_e = 99.6 + 0.63 * 5$$

$$D_e = 102.75$$

Con los cálculos realizados de modelo el engranaje mayor, se muestra el engranaje mayor modelado en 3D (ver figuras 45 y 46).

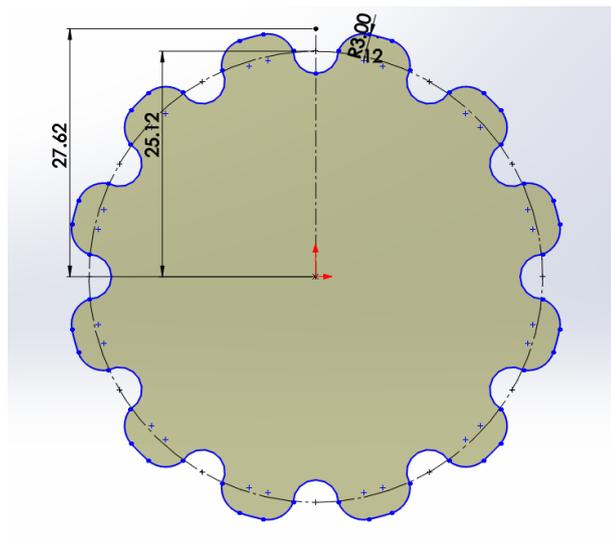


Figura 45. Engranaje Mayor 2D

Fuente: Elaboración propia

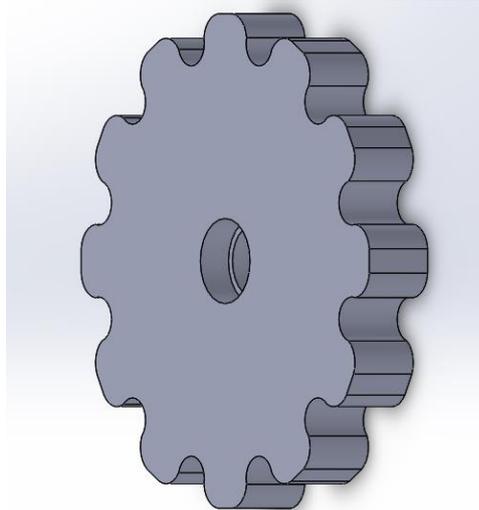


Figura 46. Engranaje Mayor 3D

Fuente: Elaboración propia

3.2.7. Diseño Engranaje dentado Menor

Siguiendo el mismo procedimiento mencionado en la sección 3.2.3, se procede a realizar el cálculo para el engranaje menor.

3.2.7.1. Cálculo del engranaje menor

Las consideraciones previas al cálculo de las dimensiones del engranaje se muestran en la siguiente tabla 13:

Tabla 13 Consideraciones para el cálculo del engranaje menor

Descripción	Terminología	Valor
Numero de Dientes	N	12
Diámetro de Rodillo (mm)	d	5
Paso (mm)	P	13

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando los valores en la ecuación 11 se calcula el ángulo del engranaje:

$$a = \frac{180}{12}$$

$$a = 15$$

El cálculo para el diámetro primitivo para el engranaje mayor se tiene al resolver la ecuación 12.

$$D_p = \frac{15}{\sin(7.5)}$$
$$D_p = 50.23$$

El cálculo para el diámetro interior para el engranaje mayor se tiene al resolver la ecuación 14.

$$D_i = 50.23 - 5$$
$$D_i = 45.23$$

El cálculo para el diámetro exterior para el engranaje mayor se tiene al resolver la ecuación 13.

$$D_e = 45.23 + 0.63 * 5$$
$$D_e = 53.38$$

Con los cálculos realizados de modelo el engranaje mayor, en la figura 47, y en la figura 48 se muestra el engranaje mayor modelado en 3D.

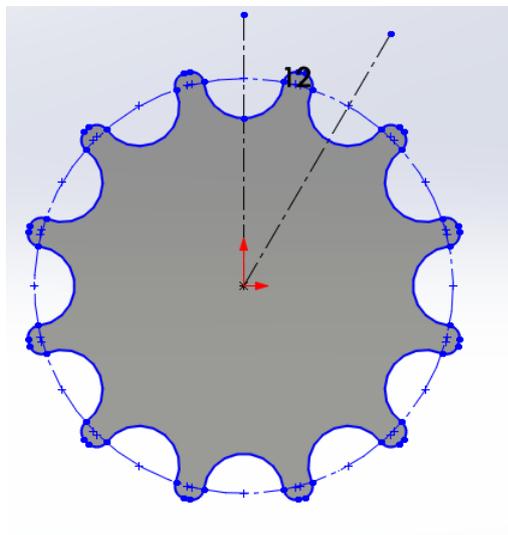


Figura 47. Engranaje Menor 2D

Fuente: Elaboración propia

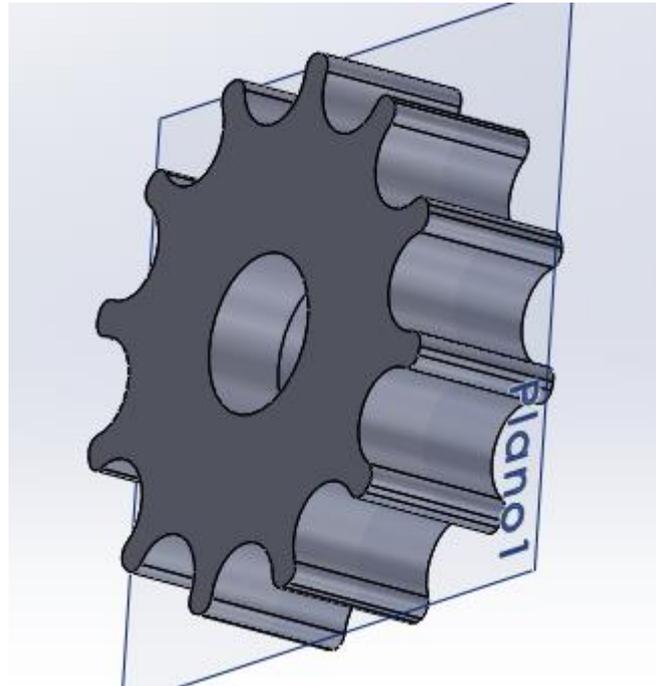


Figura 48. Engranaje Menor 3D

Fuente: Elaboración propia

3.2.8. Diseño de cadena

La cadena del vehículo teleoperador tipo oruga este compuesto por un numero de eslabones que tiene las siguientes características, ver tabla 14.

Tabla 14 Características del eslabón

Descripción	Terminología	Valor
Diámetro de Rodillo (mm)	d	5
Paso (mm)	P	13

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el móvil necesita la mayor área de interacción entre el móvil y la superficie se diseña el eslabo con el doble de grosor (ver figura 49).

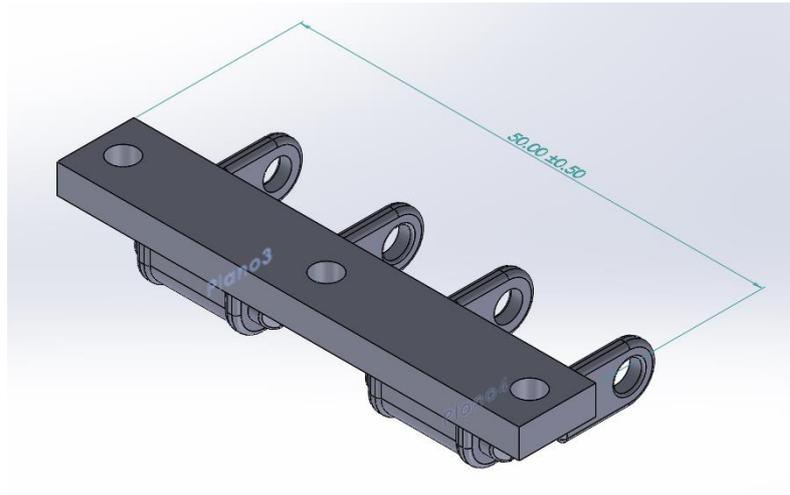


Figura 49. Eslabón principal de la cadena

Fuente: Elaboración propia

Como se menciona líneas arriba, la unión de eslabones deberá tener una distancia de 13 mm (ver figura 50).

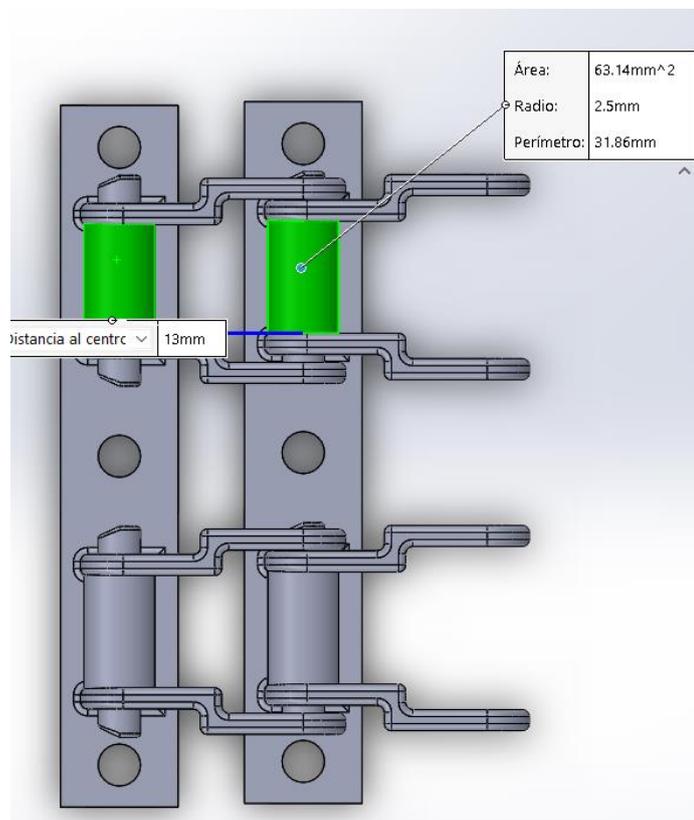


Figura 50. Unión de dos eslabones

Fuente: Elaboración propia

3.2.8.1. Recorrido de Cadena

Después de haber diseñado los engranajes, y el eslabón de la cadena se deberá definir el camino que la cadena seguirá. Se muestra la distribución de engranes a considerar y el recorrido que deberá seguir los eslabones (ver figura 51).

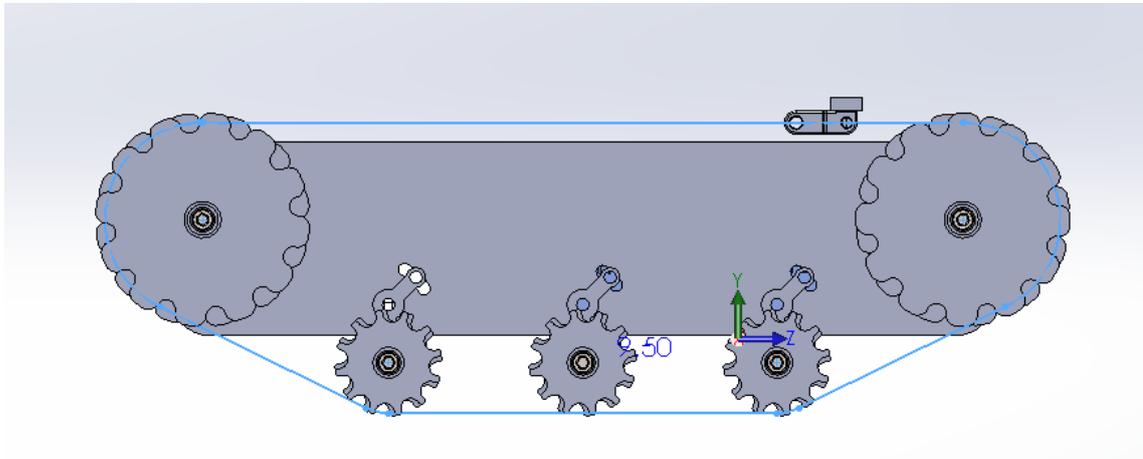


Figura 51. Ubicación del eslabón principal y recorrido

Fuente: elaboración Propia

Finalmente, el eslabón diseñado junto con el recorrido de los engranajes y con ayuda del SOLIDWORKS se logra distribuir correctamente todos los eslabones en el vehículo teleoperador (ver figura 52).

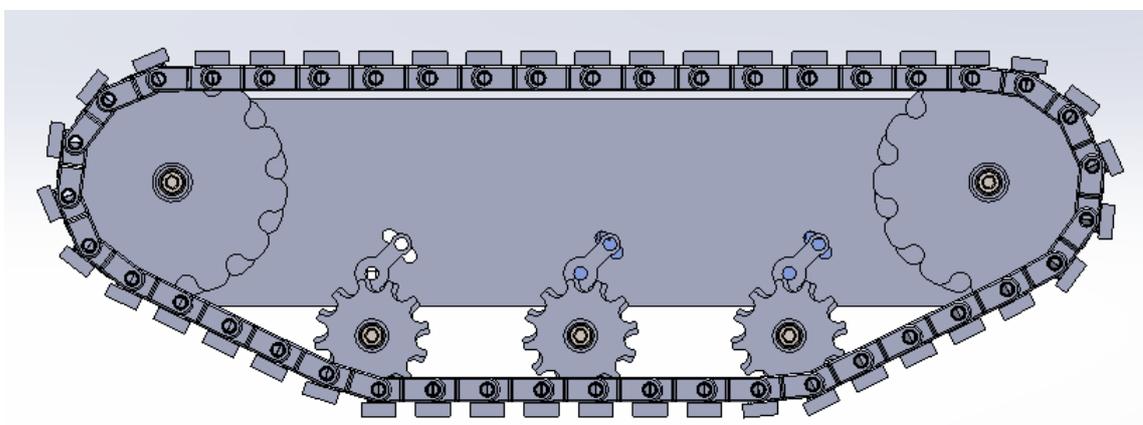


Figura 52. Distribución de eslabones en recorrido de faja

Fuente: elaboración Propia

3.3. Diseño Eléctrico

Antes de empezar con el diseño eléctrico en sí, fue necesario conocer ciertas características de los actuadores y dispositivos involucrados en esta tesis. A continuación, se indican.

3.3.1. Selección de Actuadores

Los actuadores fueron seleccionados de acuerdo a las siguientes condiciones:

- El vehículo teleoperado deberá soportar el peso de todos sus componentes de aproximadamente 10 kg.
- El vehículo teloperaado deberá moverse a una velocidad de 10 km/h.
- Se considera que la fuerza de rozamiento estático (F_r) entre el bloque y el plano sobre el cual se desliza el móvil es de $F_r=0.8*N$

Con los datos mencionados se realizaron los siguientes cálculos:

Se desarrolló un diagrama de cuerpo libre (DCL) del sistema, en la figura 53 se muestra el DCL desarrollado para el sistema.

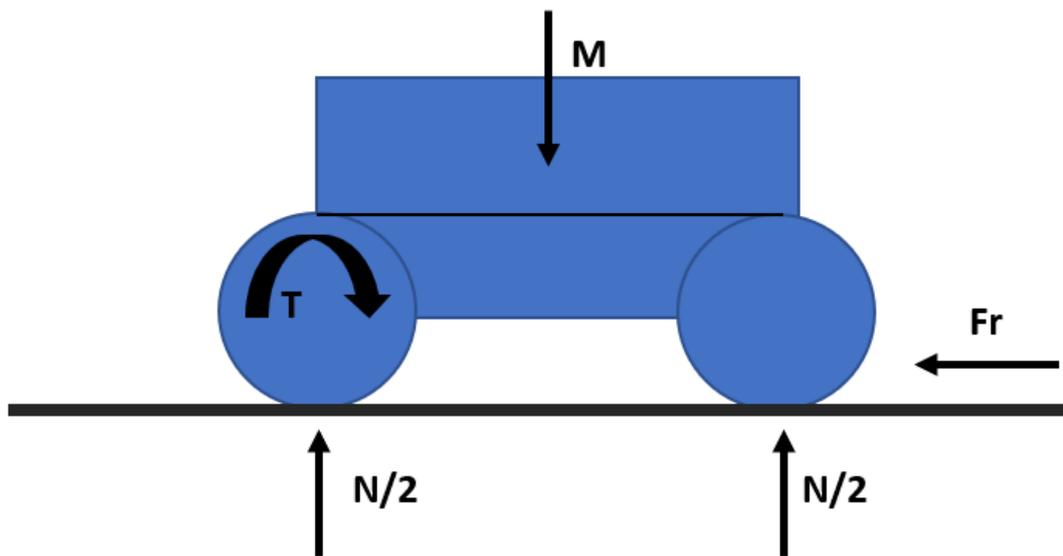


Figura 53. Diagrama de cuerpo libre del sistema

Fuente: Elaboración Propia

Las fuerzas que actúan sobre el móvil son las siguientes:

M: Masa del Sistema

T: Torque generado por el motor

N: Normal, para el caso representa a la Masa

Fr: Fuerza de rozamiento entre las ruedas y el plano

La masa total del sistema, considerando baterías, circuitería y demás componentes, es de 10 kg, con la cual se obtiene un peso de 98N. Siguiendo la siguiente formula 15 se tiene:

$$Fr = 0.8 * 98 = 78.4 N \quad (15)$$

Los motores deben generar una fuerza superior a la calculada anteriormente, con el fin de poder quebrar la fuerza estática del móvil. Debido a ello y siguiendo con la ecuación 16 se determina el torque mínimo necesario para generar el movimiento del vehículo teleoperado.

$$T = 0.1 * 78.4 = 7.84 Nm \quad (16)$$

El valor obtenido 7.84 Nm es el torque mínimo que el motor debe generar para mover el sistema.

El siguiente paso para cumplir con los requerimientos mínimos es determinar la velocidad del motor en el eje. Como la velocidad depende principalmente del diámetro de la llanta, detallado anteriormente en la sección 3.2.2.8, y considerando la velocidad máxima de 10km/h se tiene que la velocidad angular, ecuación 17, es:

$$\omega = \frac{v}{2 * \pi * r} \quad (17)$$

Donde:

W: Velocidad angular.

V: Velocidad.

r: Radio de la rueda

Reemplazando los datos en las respectivas variables se tiene:

$$\omega = \frac{10 * 1000/3600}{2 * \pi * 0.05} = 9.09rps \cong 151.57rpm \quad (18)$$

Los actuadores, cumpliendo con los requisitos explicados anteriormente, utilizados en la tesis son motores de corriente continua que cuentan con las características mostradas en la tabla 15:

Tabla 15 Característica del motor

Característica	Valor	Unidades
Diámetro de Motor	24	mm
Torque (aprox.)	15	Nm
Velocidad (Sin carga)	600	RPM
Voltaje de Motor	12	VDC
Corriente Nominal	2.5	A
Corriente pico (aprox.)	15	A

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Alimentación del sistema de potencia

El sistema de potencia (Motores y circuito de potencia) es alimentado por el arreglo de dos (02) baterías de 3S, tres celdas de 4.2 V en serie, conectadas en paralelo (ver figura 54).

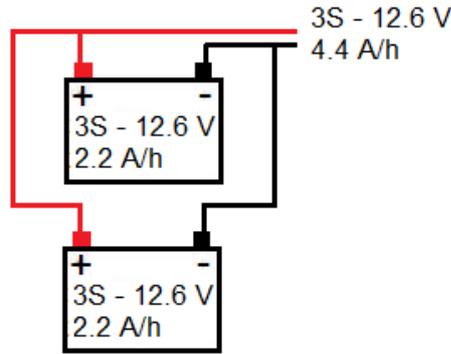


Figura 54. Baterías conectadas en paralelo

Fuente: Elaboración propia

Tal como se menciona en la sección 2.3.4, estas baterías son capaces de entregar hasta 40 veces más de su corriente nominal por periodos cortos. Esta información es importante para poder calcular la autonomía del móvil. A continuación, se muestran los cálculos realizados para obtener el tiempo promedio de duración del sistema desarrollado.

Con siguiente ecuación es posible determinar la potencia de la batería.

$$\omega = \frac{v}{2 * \pi * r} \quad (19)$$

Sustituyendo las variables con los datos de la batería.

$$P_{bateria} = 12 * 2.2 * 25$$

$$P_{bateria} = 660W$$

La batería es capaz de entregar 27.72W por hora. Luego, se calcula la potencia total del sistema, con la ecuación 20. La potencia total del sistema está representada con la siguiente ecuación.

$$P_{sistema} = P_{Motores} + P_{Controlador} + P_{Sensores} \quad (20)$$

Al reemplazar las variables con los datos del sistema donde, la potencia de los motores es de 30 W y la potencia del controlador y de los sensores son de aproximadamente 0.2A se tiene:

$$P_{sistema} = (12 * 2.5) * 2 + (12 * 0.2)$$

$$P_{sistema} = 62.4$$

Se obtiene que el sistema embebido diseñado y los motores tiene un consumo aproximado de 62.4 W. Con este último dato es posible determinar la duración de la batería, para ello se utiliza la ecuación 19.

$$Autonomia = P_{bateria}/P_{sistema} \quad (21)$$

$$Autonomia = 660/62.4$$

$$Autonomia = 10.57 = 10 \text{ horas } 34 \text{ min}$$

Con este cálculo aseguramos que el móvil tendrá aproximadamente 10 horas de funcionamiento, a plena carga de las baterías.

3.3.3. Sección del conductor

Con el fin de reducir pérdidas de energía en los conductores y evitar que estos aumenten la temperatura, se realiza el cálculo de sección de conductor para el correcto funcionamiento del sistema. Siguiendo la ecuación 22, se determina la sección del conductor a utilizar.

$$mm^2 = (2 * L * I)/(k * \%) \quad (22)$$

Donde:

mm²: La sección del conductor.

L: Longitud del Conductor (m).

K: Constante del conductor (Cu =56, Al=35).

%: Porcentaje de caída de tensión admisible.

Reemplazando los datos en la ecuación. Se tiene:

$$mm^2 = (2 * 0.3 * 4.95)/(56 * 1.2)$$

$$mm^2 = 0.04$$

Se necesita un conductor con una sección de 0.04 mm^2 , el más próximo que se puede encontrar en el mercado es el cable AWG 20 con una sección de 0.811 mm^2 . Sin embargo, por medidas de seguridad se utilizará un cableado con una sección mayor de 16 AWG.

3.4. Diseño Electrónico

Luego de haber explicado el diseño mecánico y el sistema eléctrico, se continua con el diseño electrónico de la placa de control del vehículo teleoperado, en este apartado se explicará los componentes fundamentales de la placa de control como, el sistema de potencia, el sistema de control y el acondicionamiento de señales provenientes de los sensores.

3.4.1. Sistema de potencia

El sistema de potencia fue desarrollado teniendo en consideración lo siguiente:

- El sistema de potencia deberá soportar y entregar la corriente necesaria para el correcto funcionamiento de los actuadores.
- El sistema de potencia deberá tener un control sobre en encendido y apagado de los actuadores.
- El sistema de potencia deberá tener un control de giro de los actuadores.
- El sistema de potencia deberá tener un control sobre la velocidad de cada actuador independientemente.

De lo mencionado anteriormente se define que el sistema de control es capaz de:

- Leer 4 señales PWM, las cuales regulan la velocidad de cada motor independientemente.
- Inversión de giro de ambos motores independientemente.

3.4.1.1. Diseño del sistema de Potencia

Previo al inicio del desarrollo de sistema de potencia, fue necesario conocer ciertas características de los actuadores, estos datos son mencionado en el apartado 3.1 –“Diseño mecánico”.

Para lograr lo indicado líneas arriba, se deberá diseñar un Puente-H (circuito electrónico que permite cambiar de giro a un motor eléctrico) usando transistores, relés, Mosfets, etc.

Este arreglo, Puente H, puede ser diseñado de diferentes maneras. Cada una de estas presentan ventajas sobre cada una de ellas. El puente H con relés brinda una facilidad en diseñar y construir el circuito de inversión de giro, pero es imposible poder controlar la velocidad mediante PWM con este método. En la figura 55 se muestra un circuito Puente-H para el control de giro.

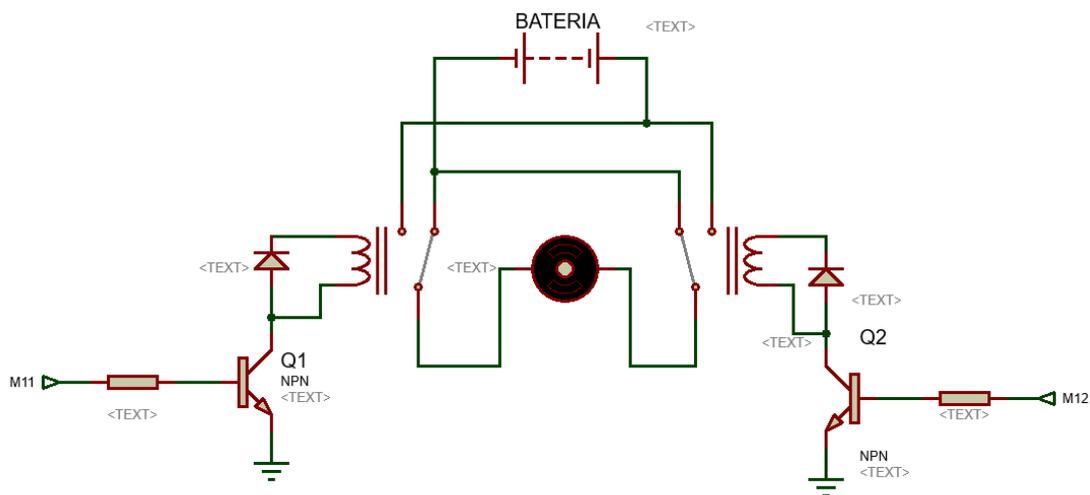


Figura 55. Puente H con Relays

Fuente: Elaboración Propia

El Puente H con transistores, pudo haber sido el circuito para escoger ya que con un arreglo de transistores es posible controlar el giro y la velocidad de los motores. Sin embargo, la corriente fue una gran limitante. Arreglo típico de puente H con transistores (ver figura 56).

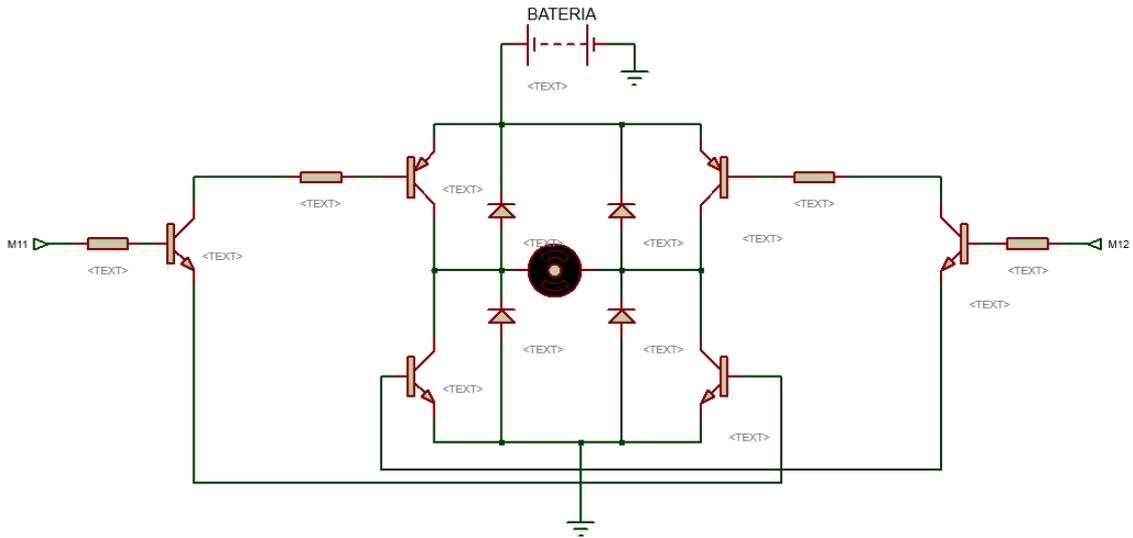


Figura 56. Puente H con Transistores

Fuente: Elaboración Propia

El puente H con Mosfet, además de cumplir con la inversión de giro y la variación de velocidad, es capaz de soportar grandes picos y rangos de corriente. se muestra el típico de puente H con Mosfets (ver figura 57).

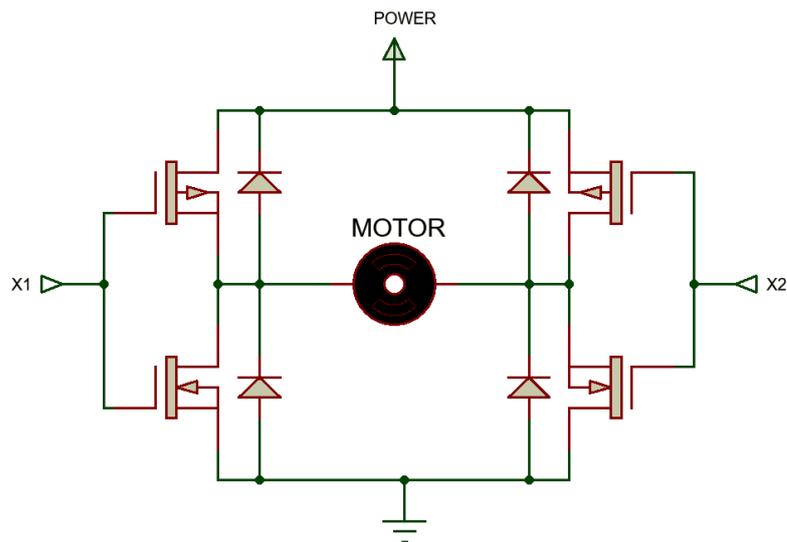


Figura 57. Puente H con Mosfets

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta la información adquirida, se diseñó el siguiente circuito (ver figura 58).

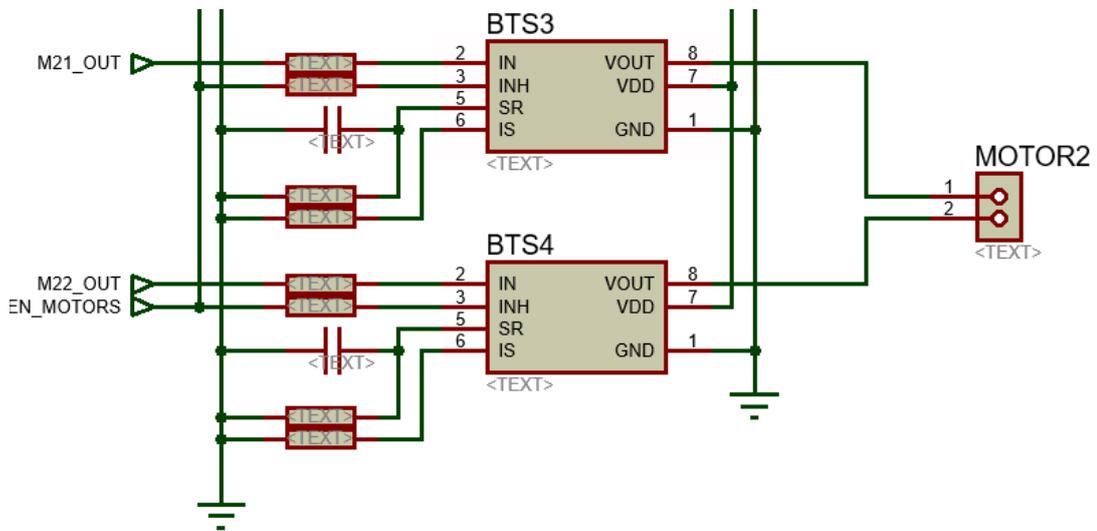


Figura 58. Puente H con Mosfet BTN7970

Fuente: Elaboración Propia

Este circuito consta principalmente de 2 mosfet BTN7970, el cual tiene 2 mosfet integrado (Mosfet N y Mosfet P), resistencias y condensadores que ayudan a filtrar las señales provenientes de microcontrolador.

Como se puede apreciar en la figura 58, el circuito tiene 3 pines de entrada que corresponden a: M11, M12 y EN. Estos pines representan al sentido de giro y a la habilitación de los motores. si el pin EN se encuentra en estado lógico encendido la lógica que representa al funcionamiento del sistema de potencia se muestra en la tabla 14, si en caso el pin EN se encuentra en estado lógico apagado, el actuador quedaría bloqueado y ninguna acción mostrada en la tabla 16 se realizaría.

Tabla 16 Tabla de estados del Motor

M11	M12	MOTOR
0	0	Apagado
0	1	Horario
1	0	Anti Horario
1	1	Freno/Break

Fuente: Elaboración Propia

Esta lógica mostrada corresponde para el funcionamiento de un solo motor, para la aplicación se necesita tener 2 puente-H para el control independiente de los motores. el circuito diseñado (ver figura 59).

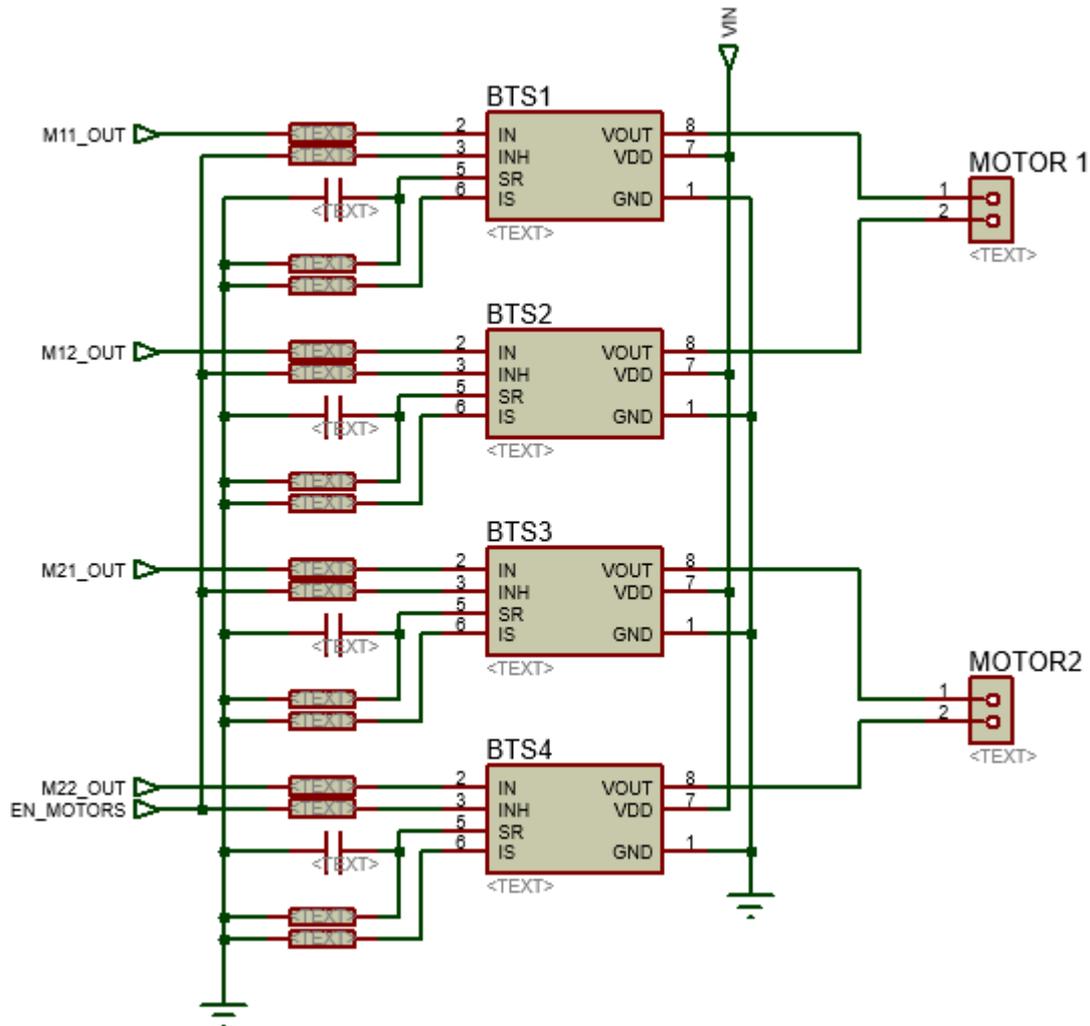


Figura 59. Arreglo para el control de dos Motores

Fuente: Elaboración Propia

Después de haber diseñado el sistema de potencia, fue necesario agregar circuitos de protección para evitar que la contracorriente generada por los motores inyecte ruido eléctrico al microcontrolador. Es por eso que se usó un 74HC244 un buffer no inversor el cual protege al microcontrolador de las contracorrientes. Se muestra el 74HC244 (ver figuras 60 y 61).

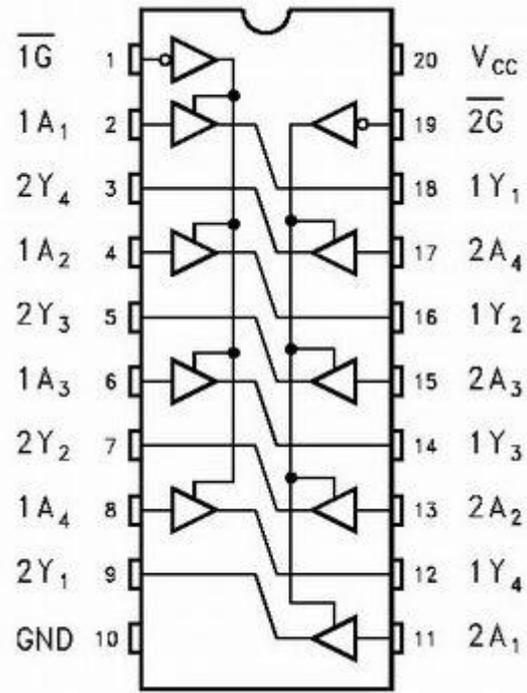


Figura 60. Arreglo Interno de 74HC244
 Fuente: "74HC244", (s.f.)

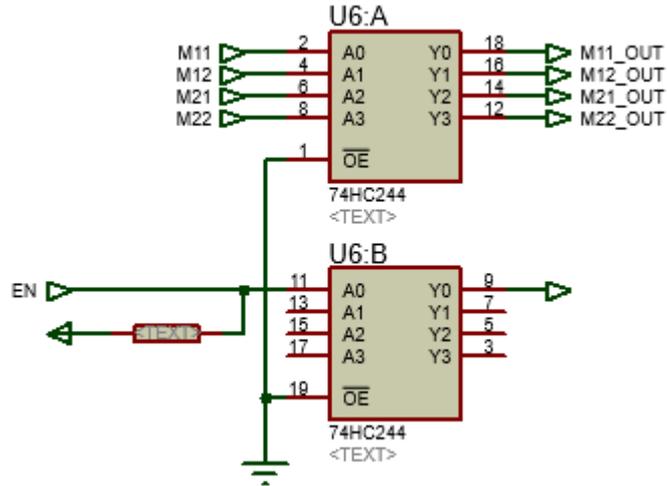


Figura 61. Integración del 74HC244 al circuito
 Fuente: Elaboración Propia

Para el correcto control de los motores, fue necesario que el microcontrolador contara con por lo menos 4 salidas analógicas, con el único fin de poder controlar el giro de los motores.

Finalmente, se diseñó un sistema de potencia capaz de invertir el giro de los motores, velocidad y que suministre la cantidad de corriente que los motores necesitan. El diseño final del sistema de potencia (ver figura 62).

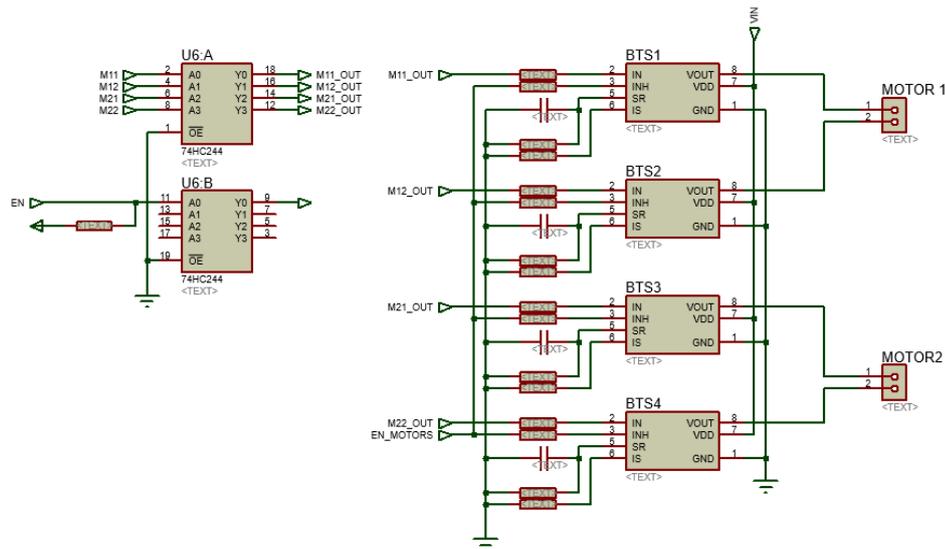


Figura 62. Diseño del sistema de potencia Final

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.2. Especificaciones

Principalmente el sistema de potencia cuenta con cuatro (04) mosfets BTN7970, para el control de los 2 motores. Para la etapa de protección, se usaron un (01) 74HC244. En la tabla 17 y muestra los principales componentes usados en el sistema de potencia y sus características técnicas.

Tabla 17 Parámetros de sistema de potencia

Sistema de Potencia		
MOSFET BTN7970B		
Parámetro	Valor	Unidad
Marca	Infeneon	
Voltaje lógico	-0.3 - 5	
Voltaje máximo	-0.3 - 45	V
Corriente pico	44	A
Cantidad	4	Und.

74HC244		
Voltaje - Vcc	-0.5 - 7	V
Voltaje de entrada	0 – Vcc	V

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Sistema de visión en primera persona

El sistema de visión en primera persona consta principalmente de los siguientes componentes, ver tabla 18.

Tabla 18 Componentes que comprenden el sistema de visión en primera persona

	Características	AI	AO
Servo Eje X	Torque: 9g; Rango Op.: 0-180 °		1
Servo Eje Y	Torque: 9g; Rango Op.: 0-180 °		1
Cámara de Baja latencia	Image Sensor:1/3" Super HAD II CCD Horizontal Resolution:600TVL	-	
Transmisor de Video	Frecuencia: 5.8 Ghz	-	
Antena 5.8Ghz		-	

Fuente: Elaboración propia

El sistema de visión en primera persona de dos (02) servomotores, los cuales podrán realizar giros en los ejes X e Y. en la figura 63 se muestra los movimientos posibles por el servomotor en el eje X y en la figura 64 se muestra los posibles movimientos por el servomotor en el eje Y.

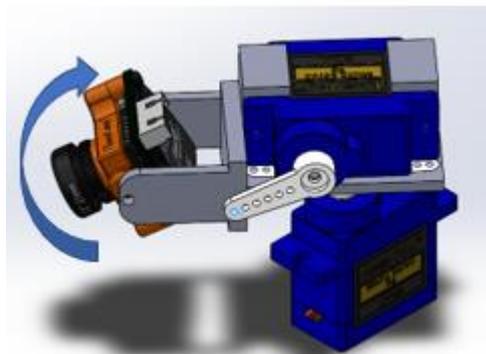


Figura 63. Movimiento del sistema de visión en primera persona para el eje X

Fuente: Elaboración Propia

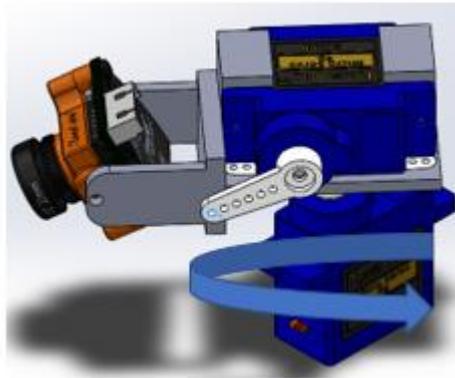


Figura 64. Movimiento del sistema de visión en primera persona para el eje Z

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3. Adquisición de datos

Para el diseño del circuito de adquisición de datos se tuvo en consideración lo siguiente:

El sistema de adquisición de datos deberá leer seis (06) valores analógicos correspondientes a los gases O₂, NH₃, CO₂, H₂S, SO₂ y gases combustibles.

Existe una marca internacional, la cual ofrece en el mercado sensores para detección de gases. Se obtuvo información correspondiente a los gases que sensaban y sus principales características operación. En la figura 65 se muestra los diferentes sensores para cada gas y sus rangos de operación.

Detection gas	CO	O ₂	NH ₃	H ₂ S	NO ₂	HF	SO ₂	CL ₂	O ₃
Detection range	0-1000 ppm	0-25% vol	0-100 ppm	0-100 ppm	0-20 ppm	0-10 ppm	0-20 ppm	0-10 ppm	0-20 ppm
Decimal point of serial port	null	1 byte	null	null	1 byte	Null	1 byte	1 byte	1 byte
Voltage output	0.6-3V	1.5-0V	0.6-3V	0.6-3V	2-0V	2-0V	0.6-3V	2-0V	2-0V
Response Time	≤20s	≤15s	≤150s	≤30s	≤25s	≤60s	≤30s	≤60s	≤120s

Figura 65. Niveles de tensión de salida de los sensores

Fuente: "Niveles de tensión de salida de los sensores", (s.f.)

Se sabe que el sistema de control tiene un rango de lectura de 0 a 5 VDC y se observa que los valores de salida analógica de los sensores varían entre 0.6-3 VDC y 1.5-0 VDC. Estos valores podrían resultar en una lectura errónea si es que no se realiza un correcto acondicionamiento de señal previo.

3.4.3.1. Acondicionamiento para los sensores O2 y gases combustibles

De acuerdo con la información del proveedor, los sensores O2 y gases combustibles operan con un valor de 1.5 VDC a 0 VDC lo cual representan al 0 y al 25% del volumen de O2 y para los gases combustibles.

Para lograr la aplicación de estas señales se recurre al uso de los circuitos electrónicos OPAMP. Los opamps son circuitos operacionales capaces de elevar, sumar, restar, seguidor de corriente y otras tareas.

Para el caso de los sensores O2 y gases combustibles, de acuerdo con la información del fabricante mostrado en la figura 65, tiene un rango de operación de 0 a 1.5 con la cual es necesario aplicar 3.33 veces el valor del fabricante.

Dicho arreglo de potencia corresponde a la siguiente ecuación 23.

$$V_{out} = V_{in} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (23)$$

Donde:

Vout: Voltaje de salida de que desea

Vin: Voltaje de entrada a ser amplificada

R1: Valor en Ohms de la resistencia 1

R2: Valor en Ohms de la resistencia 2

De la ecuación 23, se tiene que la resistencia R1 y R2 son 120 y 270 ohm respectivos. Estos valores son hallados en el mercado fácilmente, en la figura 66 se muestran los valores comerciales de resistencias que se pueden encontrar.

VALORES COMERCIALES DE RESISTENCIAS						
1 Ω	10 Ω	100 Ω	1 KΩ	10 KΩ	100 KΩ	1 MΩ
1,2 Ω	12 Ω	120 Ω	1,2 KΩ	12 KΩ	120 KΩ	1,2 MΩ
1,5 Ω	15 Ω	150 Ω	1,5 KΩ	15 KΩ	150 KΩ	1,5 MΩ
1,8 Ω	18 Ω	180 Ω	1,8 KΩ	18 KΩ	180 KΩ	1,8 MΩ
2,2 Ω	22 Ω	220 Ω	2,2 KΩ	22 KΩ	220 KΩ	2,2 MΩ
2,7 Ω	27 Ω	270 Ω	2,7 KΩ	27 KΩ	270 KΩ	2,7 MΩ
3,3 Ω	33 Ω	330 Ω	3,3 KΩ	33 KΩ	330 KΩ	3,3 MΩ
3,9 Ω	39 Ω	390 Ω	3,9 KΩ	39 KΩ	390 KΩ	3,9 MΩ
4,7 Ω	47 Ω	470 Ω	4,7 KΩ	47 KΩ	470 KΩ	4,7 MΩ
5,1 Ω	51 Ω	510 Ω	5,1 KΩ	51 KΩ	510 KΩ	5,1 MΩ
5,6 Ω	56 Ω	560 Ω	5,6 KΩ	56 KΩ	560 KΩ	5,6 MΩ
6,8 Ω	68 Ω	680 Ω	6,8 KΩ	68 KΩ	680 KΩ	6,8 MΩ
8,2 Ω	82 Ω	820 Ω	8,2 KΩ	82 KΩ	820 KΩ	8,2 MΩ
SERVICIO TECNICO DEL MILAGRO						10 MΩ

Figura 66. Valores comerciales de resistencias

Fuente: “Valores Comerciales de Resistencia”, por Wikipedia, 2017)

Resolviendo la ecuación 23 mencionada anteriormente con los nuevos datos calculados, se tiene:

$$V_{out} = 1.5 * \left(1 + \frac{270}{120}\right)$$

$$V_{out} = 4.875$$

A pesar de tener la amplificación del circuito necesario, es indispensable colocar un buffer de voltaje entre la señal del sensor y la amplificación de la señal.

Un buffer de voltaje es aquel circuito que impide que el segundo circuito cargue demasiado al primero afectando así la lectura del sensor.

Teniendo en cuenta todos los puntos anteriormente mencionado, el acondicionamiento para las señales provenientes del sensor O₂ y de gases combustibles, queda graficado de la siguiente manera (ver figura 67).

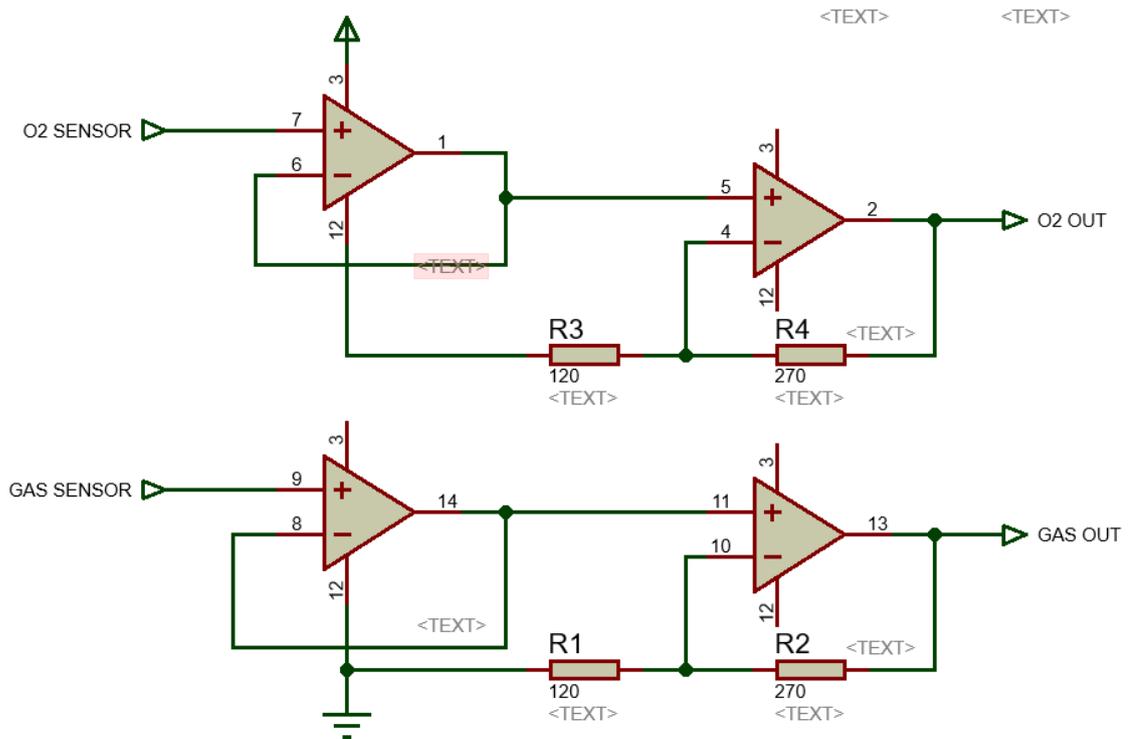


Figura 67. Arreglo para amplificación de señal

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3.2. Acondicionamiento para los Sensores NH₃, CO₂, H₂S Y SO₂

Los sensores NH₃, CO₂, H₂S y SO₂, de acuerdo a la información de la fabricante mostrada en la figura 66, tiene un rango de operación de 0.6 a 3 con lo cual es necesario, en primer lugar, quitarle el 0.6 de offset para que al momento de tener un valor sentido de 0 se vea representado en el microcontrolador como un valor de 0. Luego de haber realizado la resta se deberá amplificar el valor de 2.4 V para poder llegar a 5VDC.

Este circuito este modelado matemáticamente de la siguiente manera, ver ecuación 24.

$$V_{out} = V_{in2} \left(\frac{(R_3+R_1)*R_3}{(R_3+R_1)*R_1} \right) - V_{in1} \left(\frac{R_3}{R_1} \right) \quad (24)$$

Donde:

V_{out}: Voltaje de salida de que desea

V_{in1}: Voltaje de entrada del Sustraendo

V_{in2}: Voltaje de entrada del Minuendo

- R1: Valor en Ohms de la resistencia 1
- R2: Valor en Ohms de la resistencia 2
- R3: Valor en Ohms de la resistencia 3
- R4: Valor en Ohms de la resistencia 4

Para que este circuito funcione es necesario contar con una fuente de 0.6 VDC en el valor de V_{in1} . Dado el caso y conociendo que el valor constante, de 5 VDC, en la placa de control, se realiza un divisor de tensión para lograr obtener el valor de voltaje del sustraendo. en la figura 68 se muestra el arreglo para un divisor de tensión.

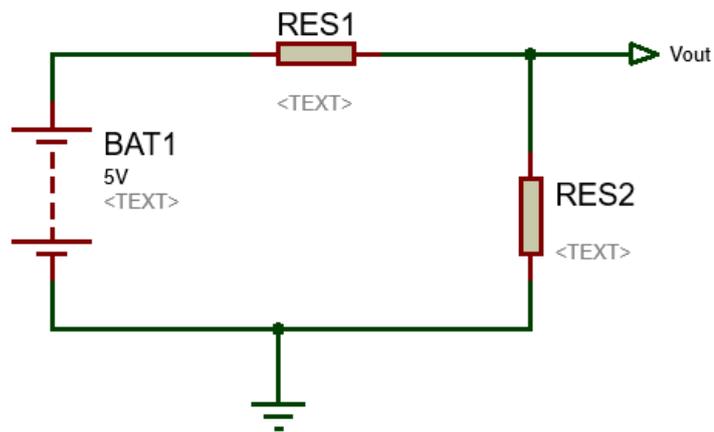


Figura 68. Circuito divisor de tensión
Fuente: Elaboración propia

Sabiendo que el voltaje que recorre sobre la resistencia de RES2 corresponde a la corriente que recorre por el valor de la resistencia se tiene:

$$V_{out} = (RES_2 * I_1) \tag{25}$$

Luego usando la teoría de malla en circuitos electrónicos se tiene lo siguiente, ecuación 26.

$$V_{in} = (RES_1 + RES_2) * I_1 \tag{26}$$

Despejando la corriente en la ecuación 26 y reemplazando lo obtenido en la ecuación 27.

$$V_{out} = \frac{RES_2}{(RES_1 + RES_2)} * V_{in} \quad (27)$$

Con esta última ecuación 27, se puede obtener un voltaje de 0.6 VDC teniendo como fuente constante una de 5VDC.

$$0.6 = \frac{RES_2}{(RES_1 + RES_2)} * 5$$

De la anterior, se tiene que RES2 y RES1 tiene valores de 120 y 880 ohms respectivamente. Al revisar los valores comerciales se aprecia que para RES1 el valor de 880 ohms no es comercial, por lo tanto, se utilizaran trimpots de precisión para poder logra dicho valor. Se muestra el divisor de tensión con los valores calculado (ver figura 69).

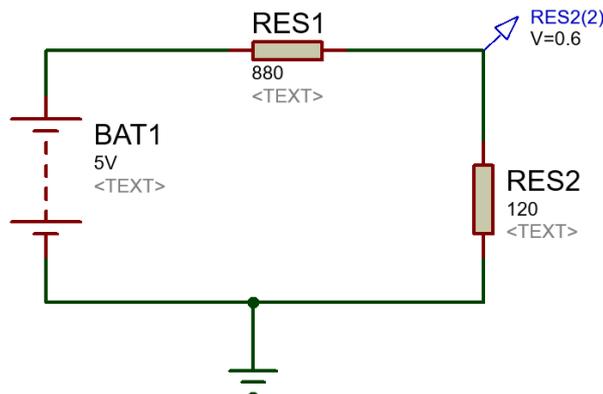


Figura 69. Simulación del circuito divisor de tensión

Fuente: Elaboración Propia

Una vez que tengamos el valor constante de 0.6 para eliminar el offset del sensor, se procedió a diseñar el circuito restador. Para que el sustraendo y minuyendo mantenga el voltaje original las constantes a cada variable deberán de dar 1, por tal motivo los valores de las resistencias R1, R2, R3, R4 son iguales a la 10k ohms.

Resolviendo la ecuación se tiene,

$$V_{out} = V_{in2} \left(\frac{(10k+10k)*10k}{(10k+10k)*10k} \right) - V_{in1} \left(\frac{10k}{10k} \right)$$
$$V_{out} = V_{in2} - V_{in1}$$

El circuito restador tendría la siguiente configuración. (ver figura70)

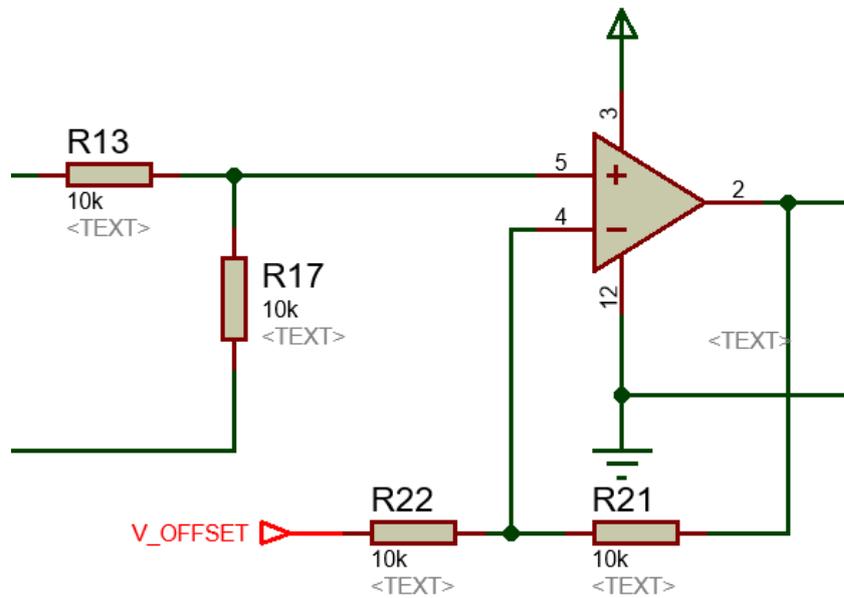


Figura 70. Circuito Restador de voltaje

Fuente: Elaboración Propia

Una vez que se restó el offset de 0.6 VDC se procede a amplificar el nuevo valor máximo del sensor de 2.4 VDC. Para este caso se deberá diseñar un amplificador con la capacidad de duplicar el valor de entrada. Las operaciones matemáticas son mostradas en la ecuación 24 y el arreglo del circuito en la figura 71, ambos mostrado líneas arriba.

El nuevo circuito, considerando el restador y el amplificador (ver figura 72).

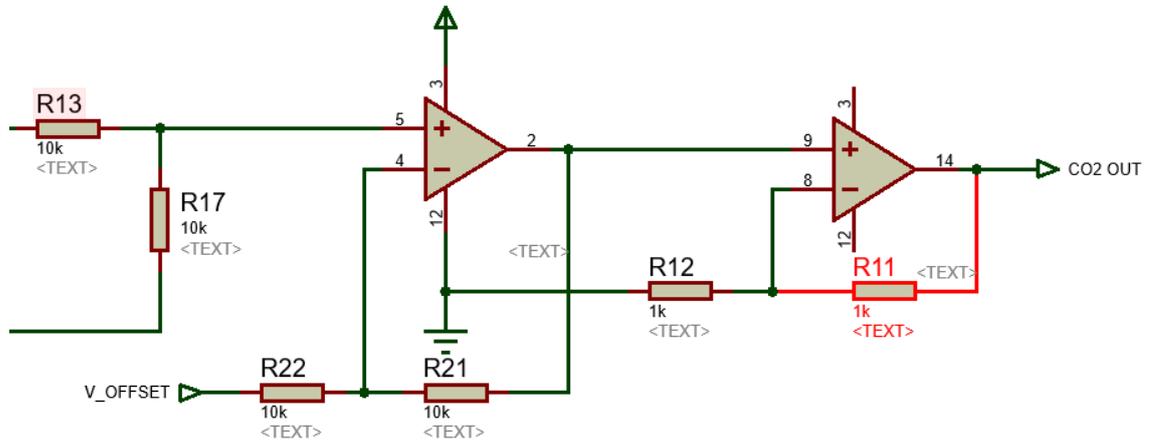


Figura 71. Circuito para acondicionamiento de sensores

Fuente: Elaboración Propia

Al igual que el circuito anterior, es necesario agregar un buffer seguido de voltaje entre la salida del sensor y la entrada al circuito de acondicionamiento de señal.

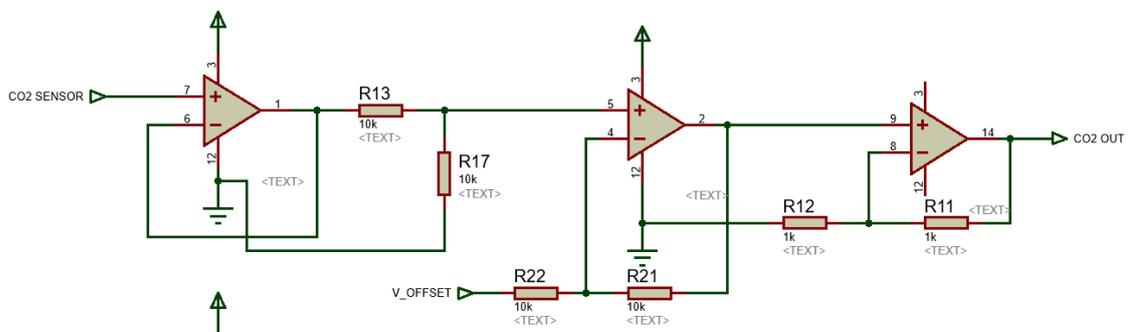


Figura 72. Diseño final del acondicionamiento de señal para sensores

Fuente: Elaboración Propia

Replicando este circuito para cada sensor, se tiene la siguiente distribución (ver figura 73).

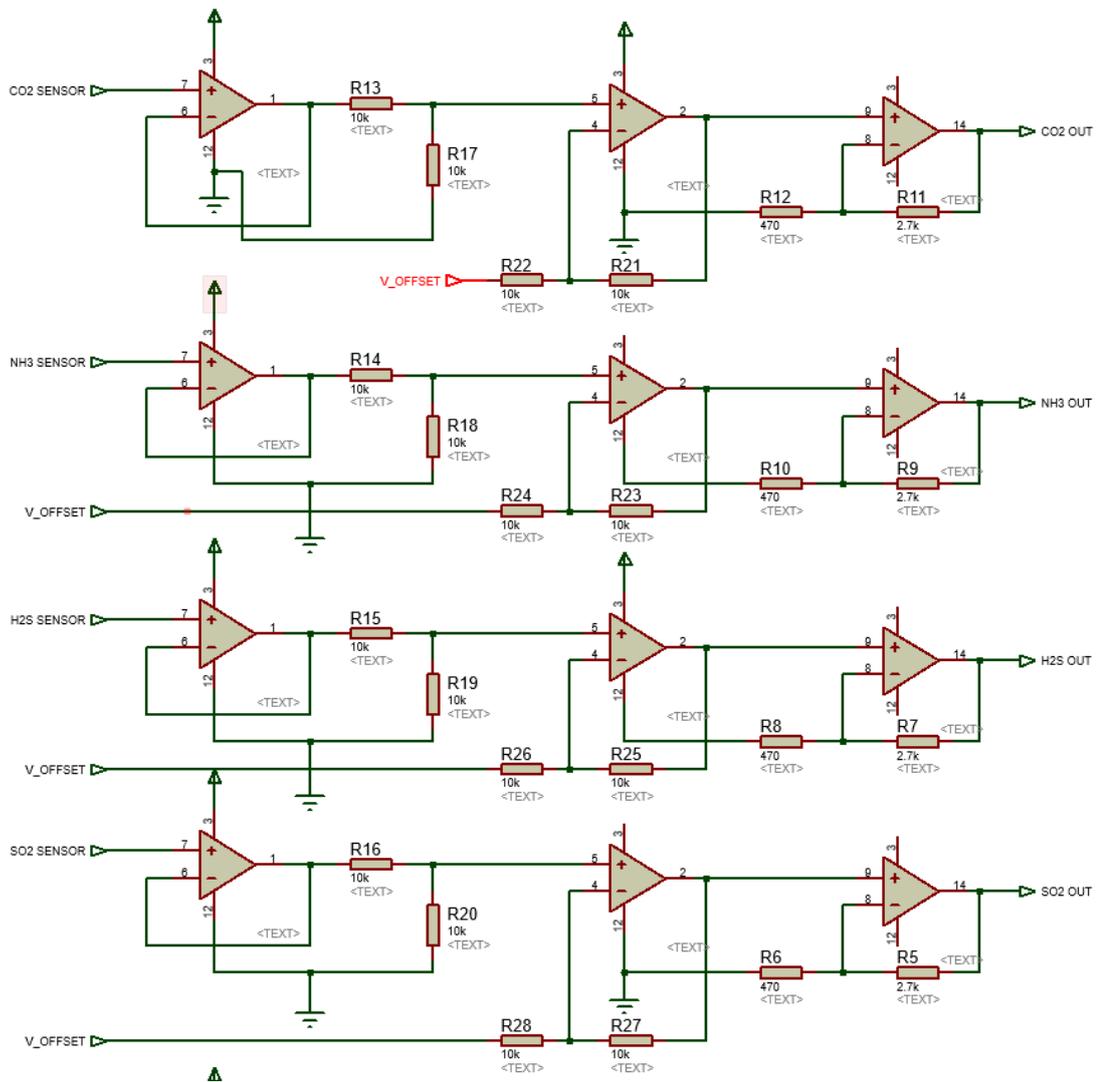


Figura 73. Diseño final del acondicionamiento de Señal para sensores

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4. Sistema de control

Para el funcionamiento del vehículo teleoperado para medición de gases, se desarrolló un sistema de control capaz de controlar los actuadores eléctricos (motores), los servomotores, los cuales son usados para el sistema de visión en primera persona, los datos de ingreso por parte del transmisor de datos, la señal proveniente de los sensores y otros periféricos conectados al sistema de control.

El siguiente diagrama, mostrado en la figura 74, muestra cómo será la comunicación entre el microcontrolador y los periféricos de entrada y salida.

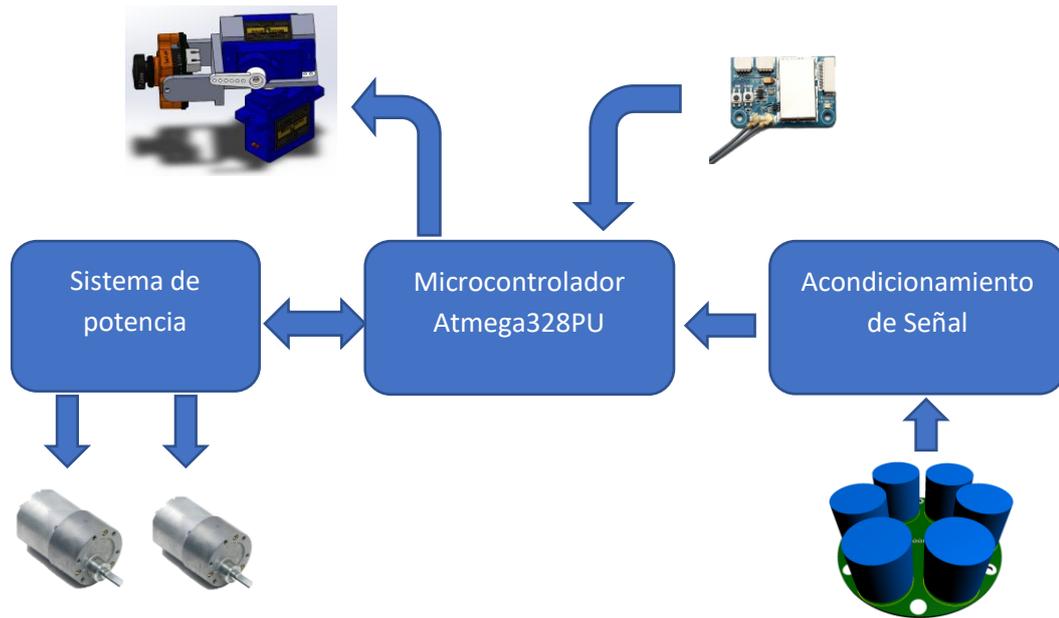


Figura 74. Diagrama de bloques del sistema de control

Fuente: Elaboración Propia

En el diseño se consideró la cantidad de entradas y salidas para la correcta selección de microcontroladores, en la siguiente tabla 19 se define la cantidad de entradas y salidas para la selección del controlador.

Tabla 19 Listado de entradas y Salidas

	DI	DO	AI	AO
Motor der				2
Motor Izq				2
Sensor 1			1	
Sensor 2			1	
Sensor 3			1	
Sensor 4			1	
Sensor 5			1	
Sensor 6			1	
Servo X				1
Servo Y				1
Control	1			
Total	1	0	6	6

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.1. Sistema de alimentación del sistema de control

Tal y como se menciona en las especificaciones del fabricante en la sección anterior, el microcontrolador necesita un voltaje estabilizado de 5 VDC el cual se obtiene de un arreglo de reguladores de voltaje capaces de suministrar la corriente necesaria para la alimentación de los diferentes componentes en la placa de control.

En la figura 75 se muestra el circuito electrónico usado para la alimentación de 5 VDC, en él se puede apreciar que se está usando dos (02) reguladores de tensión de 5 VDC. Con este arreglo se puede lograr una corriente de hasta 2 amps lo cual es suficiente para alimentar al circuito de control. Además, para evitar que el sistema tenga “apagones” a causa de arranque de los motores se coloca capacitores para poder compensar este problema.

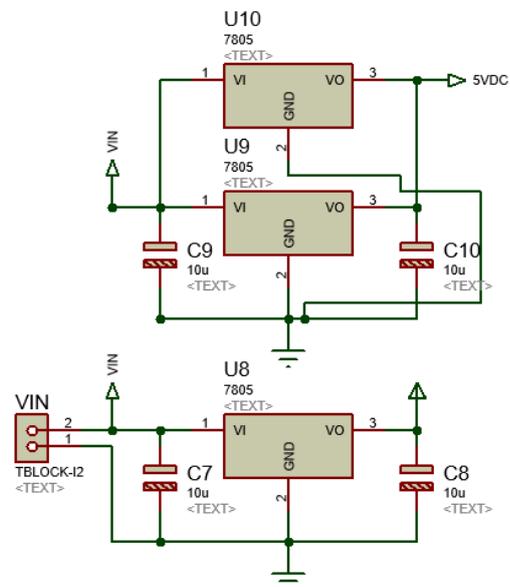


Figura 75. Circuito de alimentación de 5 VDC 2 Amps.

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.2. Control de motores

Para el control de motores es necesario tener cuatro (04) salidas con modulación PWM. El microcontrolador seleccionado cuenta con seis (06) salidas PWM. En la figura 76 se muestra la prueba realizada a las 6 salidas.

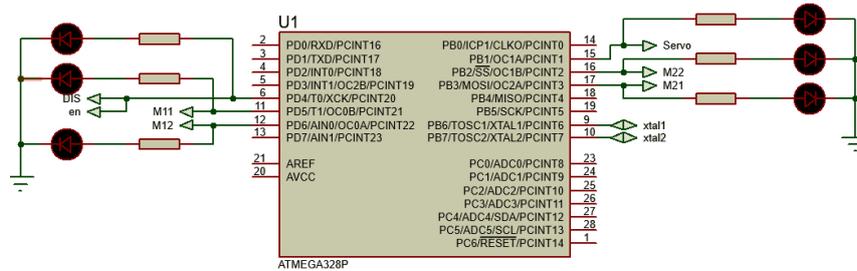


Figura 76. Prueba de señales de salidas analógicas

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.3. Lectura de sensores

Tal y como se mencionó en la sección 3.4.4, el sistema de control es capaz de leer seis (06) señales analógicas en un rango de 0 – 5 VDC. El microcontrolador ATMEGA 328PU dentro de su arquitectura, posee un convertidor análogo digital (de las siglas en ingles ADC) de 10 bits. (ver figura 77)

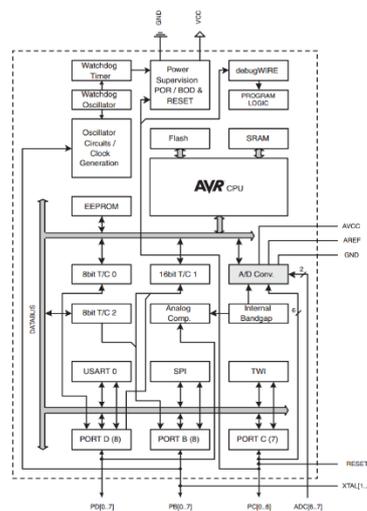


Figura 77. Arquitectura del Microcontrolador

Fuente: “Arquitectura de Microcontrolador”, por Wikipedia, (s.f.)

Este ADC recepción los valores de los diferentes sensores del sistema. Se muestra el conexionado de los sensores hacia el microcontrolador (ver figura 78).

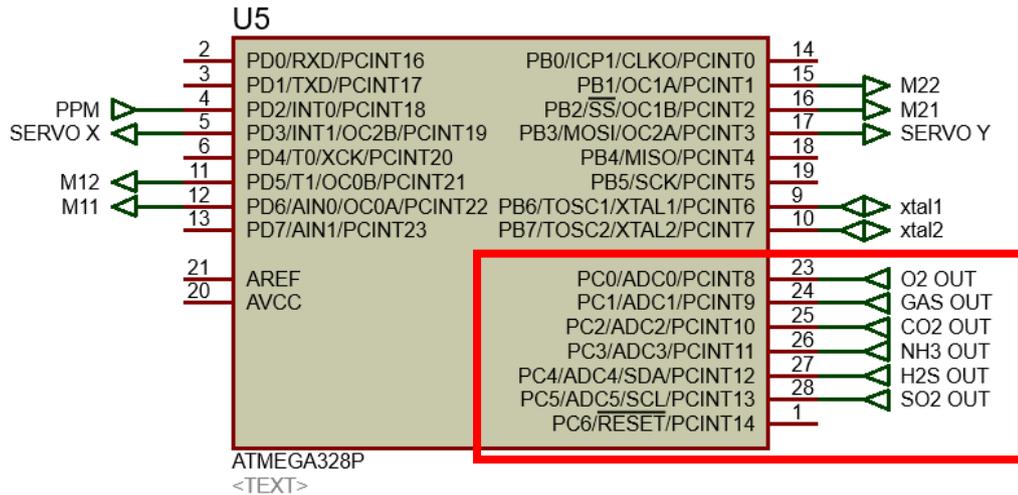


Figura 78. Diagrama de conexionado de las entradas analógicas

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.4. Datos de control (Recepción)

Como se mencionó en la sección 2.3.5, el sistema tendrá un receptor el cual es capaz de recibir la información enviada por el operador. Este receptor transmitirá la señal mediante un protocolo de comunicación basado en modulación por posición de puntos PPM (ver figura 79).

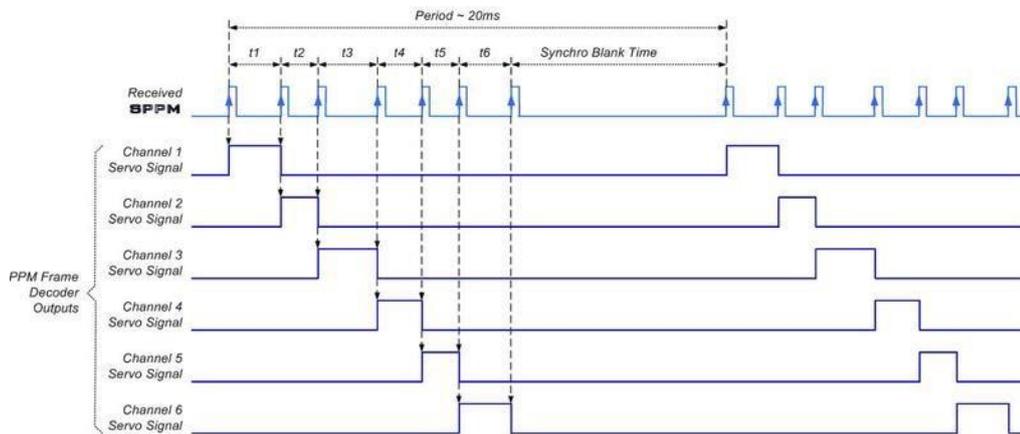


Figura 79. Modulación por posición de punto

Fuente: "PPM OUTPUT", por Hackaday, (2014)

Teniendo en consideración el funcionamiento de este protocolo, solo se necesitaría una entrada digital capaz de contar la cantidad de pulso y la duración de cada uno de ellos. Se muestra el conexionado del puerto PPM con el microcontrolador (ver figura 80).

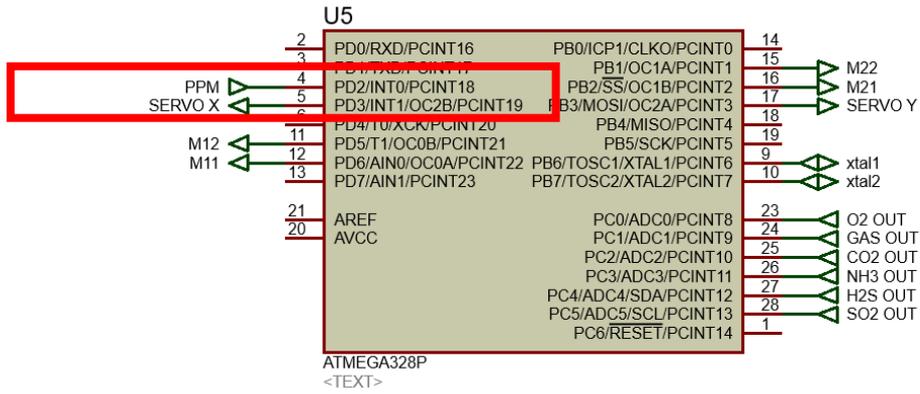


Figura 80. Entrada por interrupción para PPM

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.5. Diseño de placa de control

El diseño de la placa electrónica es representado por la unión de cada subsistema anteriormente explicado, en la figura 81 se muestra cada parte explicada anteriormente unidas y funcionando como un solo componente.

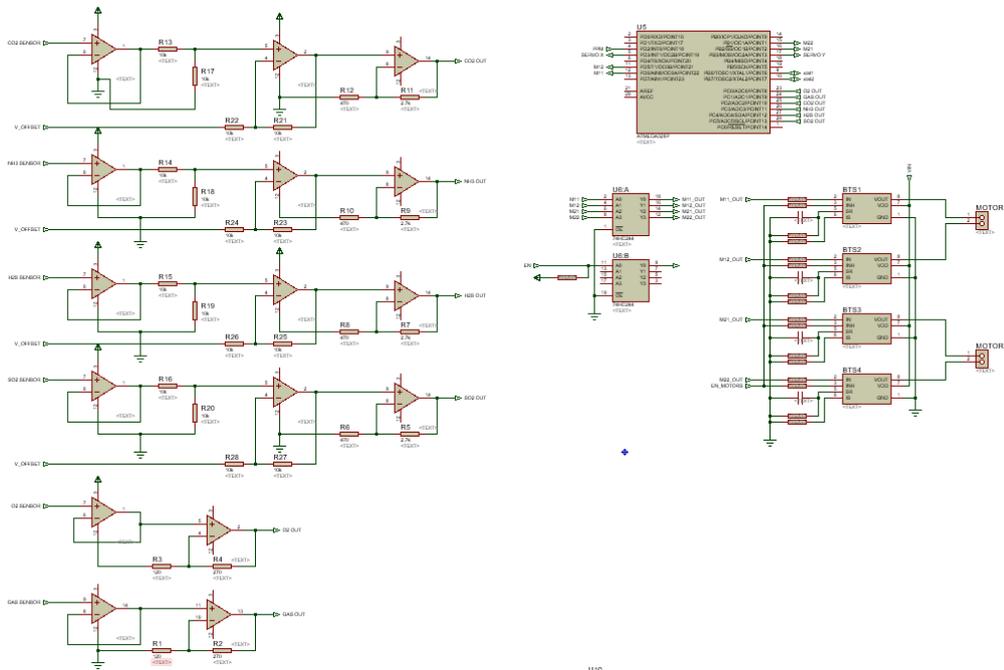


Figura 81. Diseño esquemático de la placa de control

Fuente: Elaboración Propia

Una vez que todo el sistema se encuentra completamente modelado, con ayuda del programa ARES perteneciente al programa de diseño PROTEUS se desarrolló el diseño de la placa electrónica (ver figuras 82 y 83).

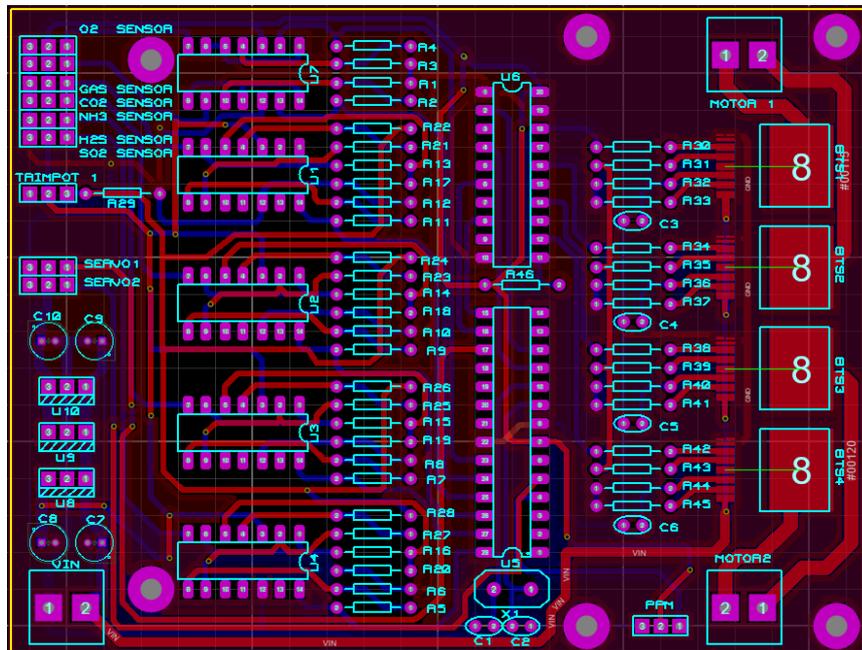


Figura 82. Diseño de placa electrónica en ARES

Fuente: Elaboración Propia

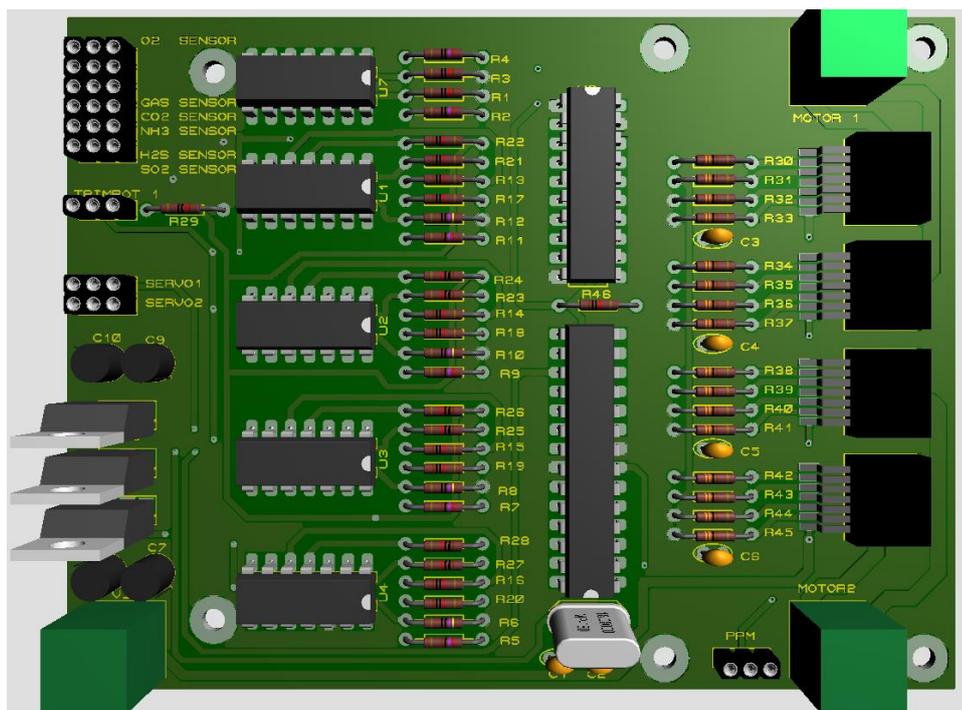


Figura 83. Diseño de placa electrónica 3D en ARES

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5. Diseño de la placa de sensores

Teniendo en consideración que los sensores deberán estar expuesto a la intemperie, esto fueron separados y colocados sobre la parte superior de móvil. Se muestra el diseño de la placa electrónica de los sensores (ver figura 84 y 85).

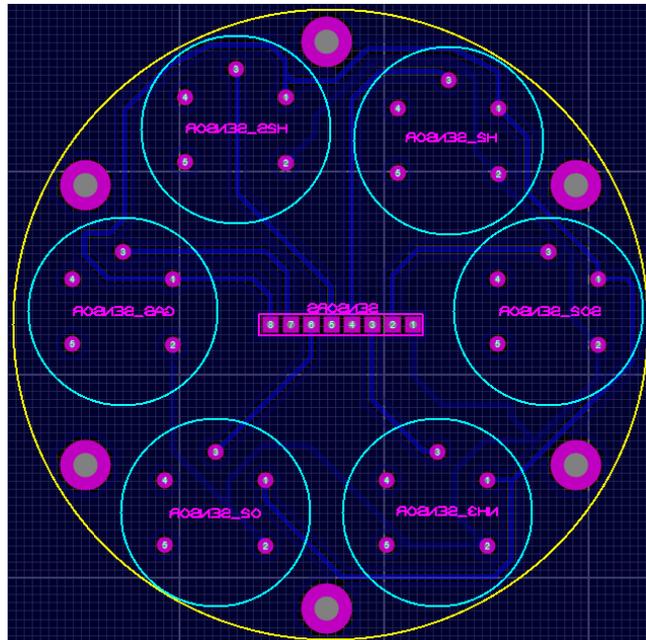


Figura 84. Diseño de placa electrónica para sensores en ARES

Fuente: Elaboración Propia



Figura 85. Modelamiento de placa electrónica en 3D

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Diseño del sistema de control

Debido a que el sistema de control debe procesar, analizar y actuar sobre los diferentes periféricos instalados, es necesario que el microcontrolador cuente con una programación capaz de poder realizar las tareas mencionadas líneas arriba de la forma más óptima. A continuación, se explicarán los principales algoritmos que se desarrollaron para el control del vehículo teleoperado.

3.5.1. Control de motores

Tal como se menciona en la sección 3.4.4, el sistema de potencia que actúa directamente sobre los motores necesita de una cuatro (04) señales PWM (Ancho de pulso Modulada) para poder controlar la velocidad de cada motor, es por eso por lo que se diseñó el siguiente algoritmo basado en el diagrama de bloque (ver figura 86).

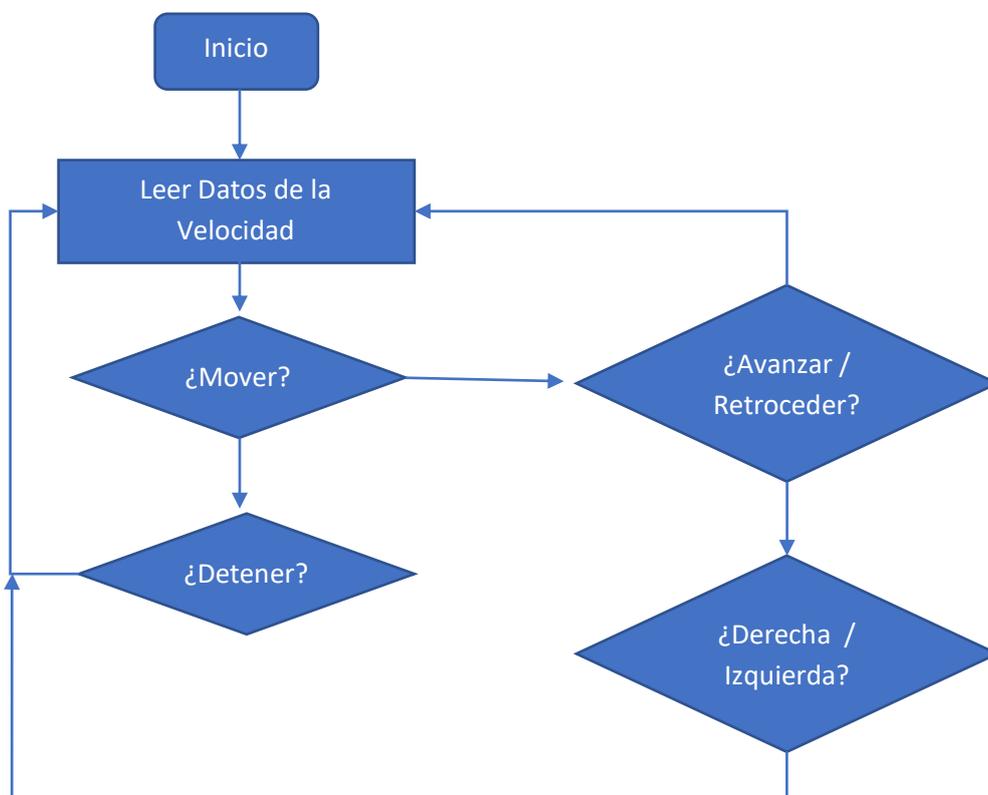


Figura 86. Diagrama de bloques Control de Motores

Fuente: Elaboración Propia

En el algoritmo que se desarrolló, en primer lugar, se deberá definir las compuertas lógicas a utilizar. Una vez declaradas se programan el comportamiento que estas tendrán, para este caso serán salidas analógicas (ver figura 87).

```
1 #define M11 5 // Motor1 Giro Horario
2 #define M12 6 //Motor1 giro antihorario
3 #define M21 9 //Motor 2 Giro Horario
4 #define M22 10 //Motor 2 Giro antihorario
5 int Velo=0; //variable que sera modificada por input del operador
6
7 Void Setup()
8 {
9     Serial.begin(9600); //Se activa puerto serial para visualizar la data en la PC
10    pinMode(M11,OUTPUT); // Pin del M11 como salida
11    pinMode(M12,OUTPUT); // Pin del M12 como salida
12    pinMode(M21,OUTPUT); // Pin del M21 como salida
13    pinMode(M22,OUTPUT); // Pin del M22 como salida
14
15 }
```

Figura 87. Algoritmo de control de motores

Fuente: Elaboración Propia

Una vez definido el comportamiento de las salidas, se deberá definir el comportamiento de cada una teniendo en consideración lo siguiente:

3.5.1.1. Avanzar

Para que el móvil pueda realizar un movimiento hacia adelante, es necesario que los dos motores giren en el mismo sentido a una misma velocidad (ver figura 88).

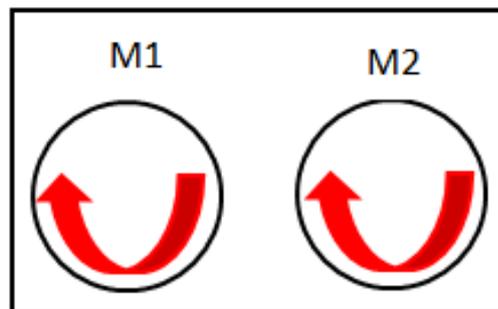


Figura 88. Movimiento del móvil hacia adelante

Fuente: “Diseño e implementación de un sistema embebido inteligente para silla de ruedas eléctrica utilizada por pacientes parapléjicos”, por Jhosue Juárez, (2017)

El algoritmo diseñado para este caso. (ver figura 89)

```
16 void Avanzar ()
17 {
18     analogWrite (M11, Velo);
19     analogWrite (M12, LOW);
20     analogWrite (M21, Velo);
21     analogWrite (M22, LOW);
22 }
```

Figura 89. Algoritmo para que el móvil avance

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.2. Retroceder

Para que el móvil pueda realizar un movimiento hacia atrás, es necesario que los dos motores giren en el mismo sentido, inverso a lo explicado en la acción para avanzar, a una misma velocidad. Tal como se muestra en la figura 90.

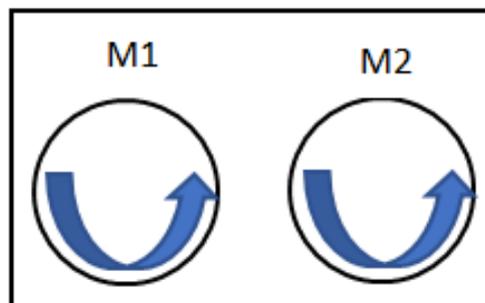


Figura 90. Movimiento del móvil hacia Atrás

Fuente: “Diseño e implementación de un sistema embebido inteligente para silla de ruedas eléctrica utilizada por pacientes parapléjicos”, por Jhosue Juárez, (2017)

El algoritmo diseñado para este caso (ver figura 91).

```
23 void Retro ()
24 {
25     analogWrite (M11, LOW);
26     analogWrite (M12, Velo);
27     analogWrite (M21, LOW);
28     analogWrite (M22, Velo);
29 }
```

Figura 91. Algoritmo para que el móvil Retroceda

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.3. Giro a Derecha

Para realizar un giro a derecha el Motor que está ubicado a la izquierda deberá girar en sentido horario, mientras que el motor del lado derecho deberá girar en el sentido contrario (ver figura 92).

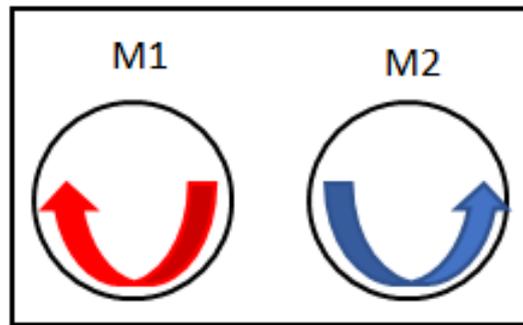


Figura 92. Movimiento del móvil hacia la derecha

Fuente: “Diseño e implementación de un sistema embebido inteligente para silla de ruedas eléctrica utilizada por pacientes parapléjicos”, por Jhosue Juarez, (2017)

El algoritmo diseñado para este caso (ver figura 93).

```
30 void Der ()
31 = {
32     analogWrite (M11, Velo);
33     analogWrite (M12, LOW);
34     analogWrite (M21, LOW);
35     analogWrite (M22, Velo);
36 }
```

Figura 93. Algoritmo para que el móvil gire a la derecha

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.4. Giro Izquierda

Para realizar un giro a izquierda el Motor que está ubicado a la izquierda deberá girar en sentido antihorario, mientras que el motor del lado derecho deberá girar en el sentido contrario (ver figura 94).

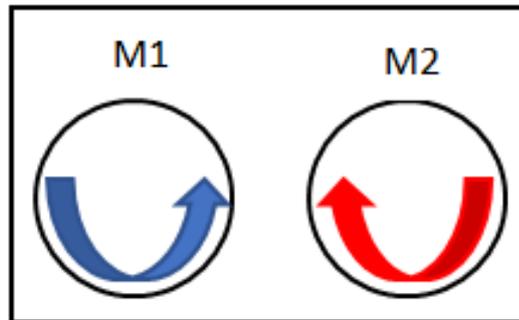


Figura 94. Movimiento del móvil hacia la Izquierda

Fuente: “Diseño e implementacion de un sistema embebido inteligente para silla de ruedas electrica utilizada por pacientes paraplejicos”, por Jhosue Juarez, (2017)

El algoritmo diseñado para este caso (ver figura 95).

```

37 void izq()
38 = {
39     analogWrite (M11, LOW);
40     analogWrite (M12, Velo);
41     analogWrite (M21, Velo);
42     analogWrite (M22, LOW);
43 }

```

Figura 95. Algoritmo para que el móvil gire a izquierda

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.5. Detener

Para detener los motores, todas las salidas deberán estar apagadas o en estado lógico 0.

En la figura 96 se muestra el algoritmo diseñado para este caso.

```

45 void detener ()
46 = {
47     analogWrite (M11, LOW);
48     analogWrite (M12, LOW);
49     analogWrite (M21, LOW);
50     analogWrite (M22, LOW);
51 }

```

Figura 96. Algoritmo para que el móvil se detenga

Fuente: Elaboración Propia

El valor que se muestra en cada uno de los casos “Velo” corresponde a la velocidad a la que los motores deberán girar, este valor es obtenido de la lectura de la señal de control.

3.5.2. Control del sistema en primera persona

El control del sistema en primera persona corresponde al accionamiento de dos servomotores. Estos servomotores, al igual que el sistema de potencia, son controlados por modulación de ancho de pulso.

La señal o dato que hay que enviarle al servo es una señal de PWM donde el tiempo en alto es equivalente al ángulo o posición del servo. Estos valores pueden variar y van desde 0.5 a 1 milisegundo para la posición 0° y 2 a 2.4 milisegundos para la posición de 180° (ver figura 97).

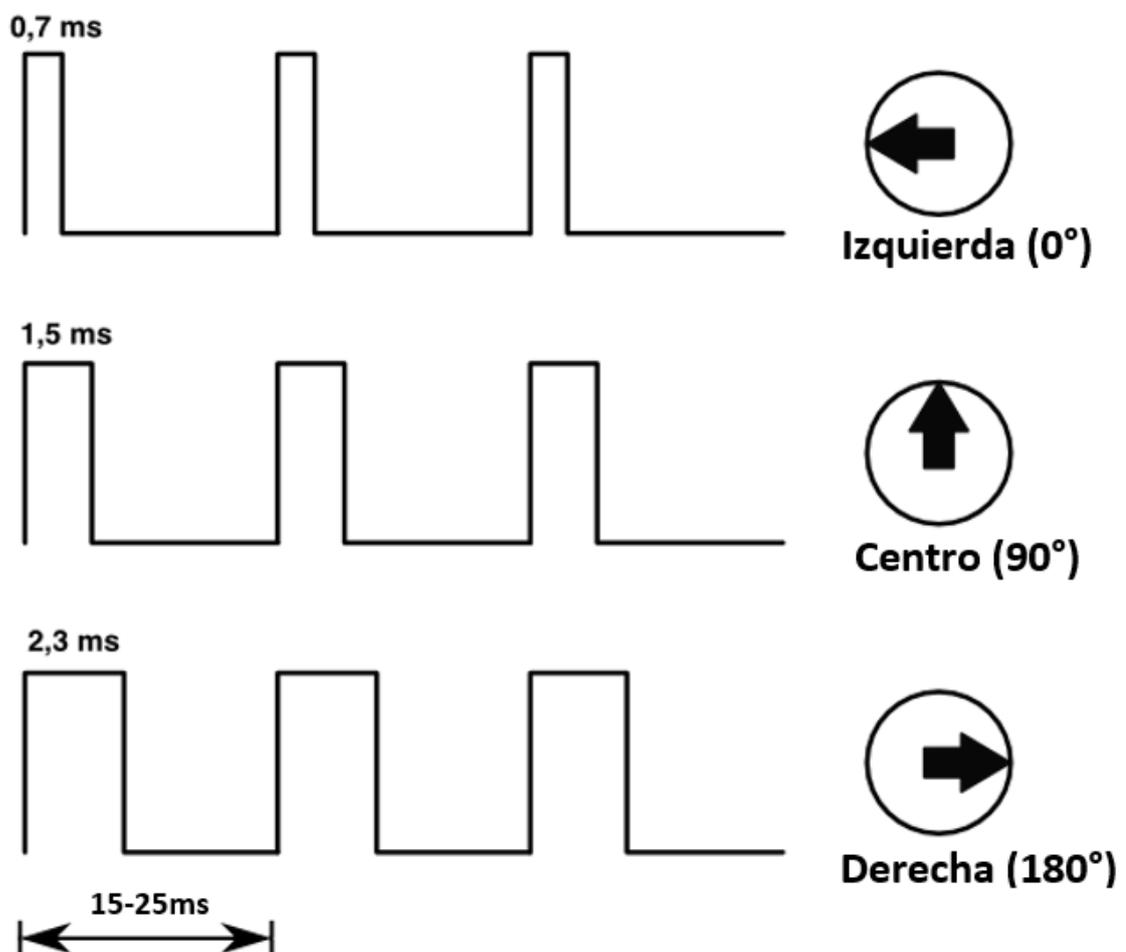


Figura 97. Control para servomotores

Fuente: “Señal enviado al Servomotor en el Tiempo”, por Naylamp (s.f)

Conociendo el funcionamiento de los servomotores se desarrolla un diagrama de flujo para el control de los servomotores, en la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques.

El algoritmo creado para controlar los dos servomotores (ver figura 98).

```
1 #include <Servo.h>
2
3 Servo ServoX;
4 Servo ServoY;
5
6 int Dato1;
7 int Dato2;
8 void setup()
9 {
10   myservo.attach(9); // asignamos el pin 9 al servo.
11   Serial.begin(9600);
12 }
13
14 void loop()
15 {
16   int Dato1 = analogRead(A0); //Datos para servoX
17   int Dato2 = analogRead(A1); //Datos para ServoY
18   int angulo1 = map(Dato1, 0, 1023, 0, 180); // escalamos la lectura a un valor entre 0 y 180
19   int angulo2 = map(Dato2, 0, 1023, 0, 180); // escalamos la lectura a un valor entre 0 y 180
20
21   myservo.write(angulo1); // enviamos el valor escalado al servoX.
22   myservo.write(angulo2); // enviamos el valor escalado al servoY.
23
24   Serial.print("Angulo1: ");
25   Serial.println(angulo1);
26   Serial.print("Angulo2: ");
27   Serial.println(angulo2);
28   delay(10);
29 }
```

Figura 98. Algoritmo para el control de los servomotores.

Fuente: Elaboración Propia

3.5.3. Lectura de Sensores

Para el caso de la lectura de los sensores, solo se debe definir los pines de cada sensor.

En la figura 99 se muestra el algoritmo creado para leer los datos del sensor.

```
1 #Define O2 A0
2 #Define GAS A1
3 #Define CO2 A2
4 #Define NH3 A3
5 #Define H2S A4
6 #Define SO2 A5
7
8 void Setup()
9 {
10   Serial.begin(9600); //Se activa puerto serial para visualizar la data en la PC
11 }
12
13 void loop()
14 {
15   SeO2=map(analogRead(O2),0,1024,0,25); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-25%
16   SeGAS=map(analogRead(GAS),0,1024,0,100); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-100%
17   SeCO2=map(analogRead(CO2),0,1024,0,100); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-100PPM
18   SeNH3=map(analogRead(NH3),0,1024,0,100); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-100PPM
19   SeH2S=map(analogRead(H2S),0,1024,0,100); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-100PPM
20   SeSO2=map(analogRead(SO2),0,1024,0,20); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-20PPM
21
22   Serial.print("O2= ");
23   Serial.print(SeO2);
24   Serial.print("\tGAS= ");
25   Serial.print(SeGAS);
26   Serial.print("\tCO2= ");
27   Serial.print(SeCO2);
28   Serial.print("\tNH3= ");
29   Serial.print(SeNH3);
30   Serial.print("\tH2S= ");
31   Serial.print(SeH2S);
32   Serial.print("\tSO2= ");
33   Serial.print(SeSO2);
34 }
35 }
```

Figura 99. Algoritmo para la lectura de sensores analógicos

Fuente: Elaboración Propia

3.5.4. Interpretación de las señales del receptor

En la sección 3.4.4.4, se explicó el funcionamiento de las señales PPM, en esta sección se mostrará el algoritmo diseñado para la lectura de 6 canales analógicos provenientes del mando de control (ver figura 100).

```
1  #include <PPMReader.h>
2
3
4  int PPMpin = 3;
5  int QtySeñales = 6;
6  PPMReader ppm(PPMpin, QtySeñales);
7
8  void setup() {
9      Serial.begin(9600);
10 }
11
12 void loop() {
13
14     for (int canal = 1; canal <= QtySeñales; ++canal) {
15         unsigned long value = ppm.latestValidChannelValue(canal, 0);
16         Serial.print(String(value) + " ");
17     }
18     Serial.println();
19 }
```

Figura 100. Algoritmo para lectura de señal PPM

Fuente: Elaboración Propia

3.6. Presupuesto

Item	Características	Cantidad	Precio Unitario	Precio Sub total
	Mecánica			
1	Motores	2	S/ 2.00	S/ 4.00
2	Plancha de Aluminio 3mm, 100 x 100 cm	1	S/ 90.00	S/ 90.00
3	Barra de Aluminio para Engranaje Mayor	4	S/ 20.00	S/ 80.00
4	Barra de Aluminio para Engranaje Menor	6	S/ 20.00	S/ 120.00
5	Mecanizado de piezas de aluminio (estructura)	1	S/ 150.00	S/ 150.00
6	Cámara en primera persona	1	S/ 100.00	S/ 100.00
7	Sistema de transmisión de Video	1	S/ 100.00	S/ 100.00
9	Mando de radio Control	1	S/ 450.00	S/ 450.00
10	Antenas para el control	1	S/ 50.00	S/ 50.00
11	Eslabones de faja	100	S/ 2.50	S/ 250.00
	Electrónica			
12	Microcontrolador Atmega 328 pu	1	S/ 25.00	S/ 25.00
13	Mosfet BTN7970	4	S/ 30.00	S/ 120.00
14	74HC244	1	S/ 10.00	S/ 10.00
15	LM339	4	S/ 5.00	S/ 20.00
16	Regulador de voltaje	3	S/ 2.00	S/ 6.00
17	Misceláneos electrónica	1	S/ 30.00	S/ 30.00
18	Micro servos	2	S/ 30.00	S/ 60.00
19	Sensores de Gases	6	S/ 70.00	S/ 420.00
20	Resistencias Varias	1	S/ 10.00	S/ 10.00
21	Capacitores Varios	1	S/ 10.00	S/ 10.00

22	Fabricación de PCB de control, doble cara Metalizada	1	S/ 150.00	S/ 150.00
	Características	Cantidad	Precio Unitario	Precio Sub total
23	Fabricación de PCB de sensores, doble cara Metalizada	1	S/ 50.00	S/ 50.00
24	Baterías lipo 2200 mAh, 3 S	2	S/ 70.00	S/ 140.00
25	Accesorios Misceláneos	1	S/ 200.00	S/ 200.00
			Total	S/ 2,445.00

CAPITULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo corresponde a las pruebas y resultados logrados sobre el funcionamiento del vehículo teleoperado diseño y simulación de un vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos en espacios confinados en compañía minera del sur de Perú. Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas planteadas, será el indicativo del eficiente diseño realizado y sobre todo servirá como referencia en cuanto al cumplimiento de los objetivos propuestos y confirmación de la problemática planteada.

4.1. Pruebas

Se plantearon las siguientes pruebas.

4.1.1. Prueba 1

La primera prueba consiste en una simulación de ensamblaje total en donde se pueda apreciar todos los movimientos que el móvil puede realizar, principalmente avanzar, retroceder, girar a derecha, girar a izquierda, rotación en el eje X de sistema de visión en primera persona y rotación de en el eje Y del sistema de visión en primera persona.

4.1.2. Prueba 2

La segunda prueba a realizar es del acondicionamiento de la señal que se realizó. Con ayuda del software de desarrollo electrónico es posible corroborar y simular las funciones de los circuitos electrónicos.

4.1.3. Prueba 3

La tercera prueba consiste en simular los algoritmos elaborados. Con esto se puede demostrar que todo los desarrollado a nivel de software está de acuerdo a lo planteado.

4.2. Resultados

A continuación, se presenta cada prueba con su respectiva explicación:

4.2.1. Resultados de la prueba 1

En la prueba uno, se verificará si todos los cálculos realizados para el diseño de la parte mecánica están funcionando y trabajando tal como se esperaba.

En primer lugar, se verifica que el ensamblaje del mecanismo calza tal lo diseñado. En la figura 101 se muestra la distribución de los engranajes en la base del robot, estos calzan correctamente tal lo diseñado. Además, se muestra la ubicación del primer eslabón de la cadena.

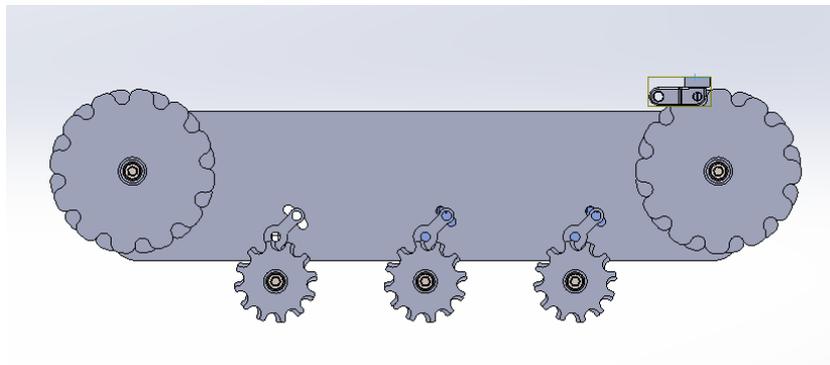


Figura 101. Ensamblaje de engranajes en base del robot

Fuente: Elaboración propia

En la figura 102 y 103 se muestra el resultado del diseño de los engranajes y el eslabón con un paso de 13 mm entre cada diente. Este dato es importante para el dimensionamiento de los engranajes mayores y menores.

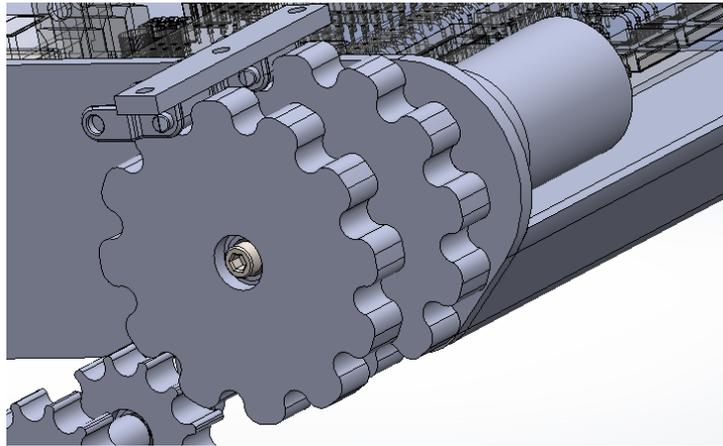


Figura 102.Resultado del diseño de los engranajes mayor y el eslabón principal
Fuente: Elaboración propia

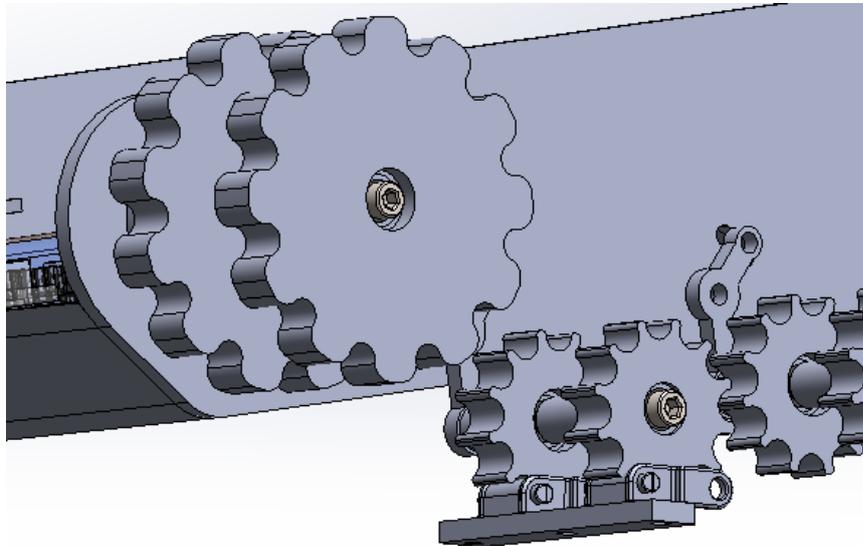


Figura 103.Resultado del diseño de los engranajes mayor y el eslabón principal
Fuente: Elaboración propia

En la figura 104 se muestra el ensamblaje completo de la cadena de transmisión y los engranajes, montado sobre la base final del móvil.

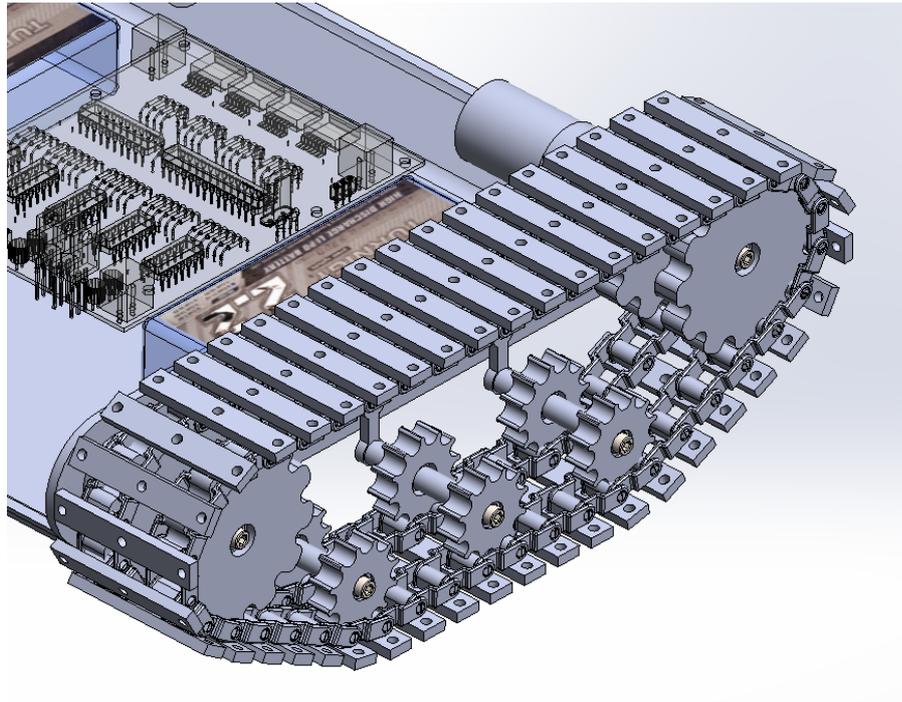


Figura 104. Ensamblaje de la cadena de transmisión y los engranajes del móvil

Fuente: Elaboración propia

En la figura 105, se realizó la simulación del movimiento rotacional del móvil en donde la cadena de transmisión y el engranaje calzan perfectamente en cada paso de la cadena.

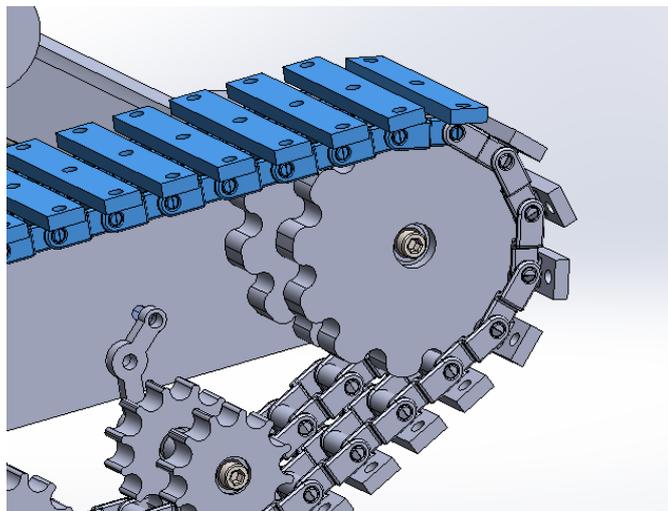


Figura 105. Simulación de la cadena de transmisión

Fuente: Elaboración propia

Para la simulación del movimiento de debe realizar que las ruedas del móvil giren a diferentes velocidades y diferente sentido (ver figuras 106, 107, 108 y 109).

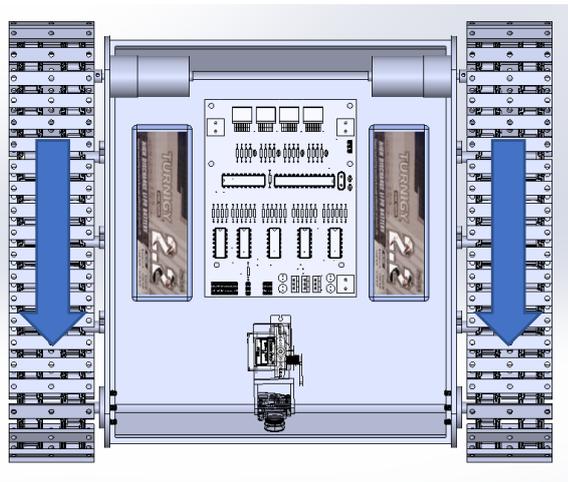


Figura 106.Simulación de movimiento hacia adelante

Fuente: Elaboración propia

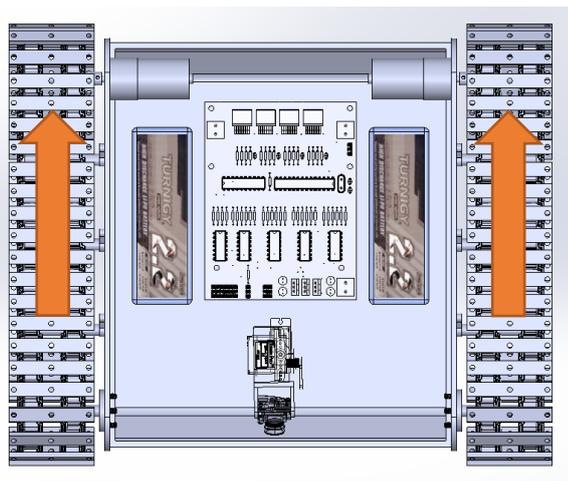


Figura 107.Simulación de movimiento hacia atrás

Fuente: Elaboración propia

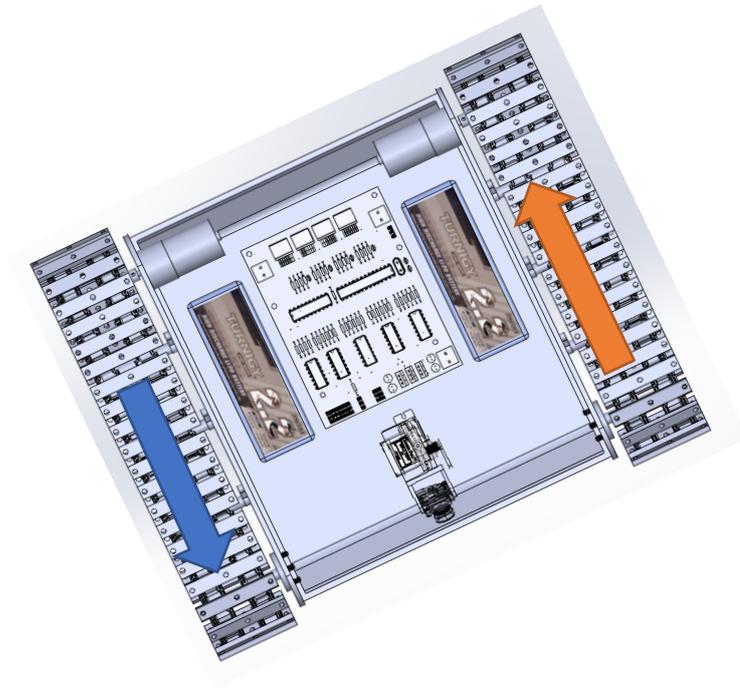


Figura 108.Simulación de movimiento hacia la derecha
Fuente: Elaboración propia

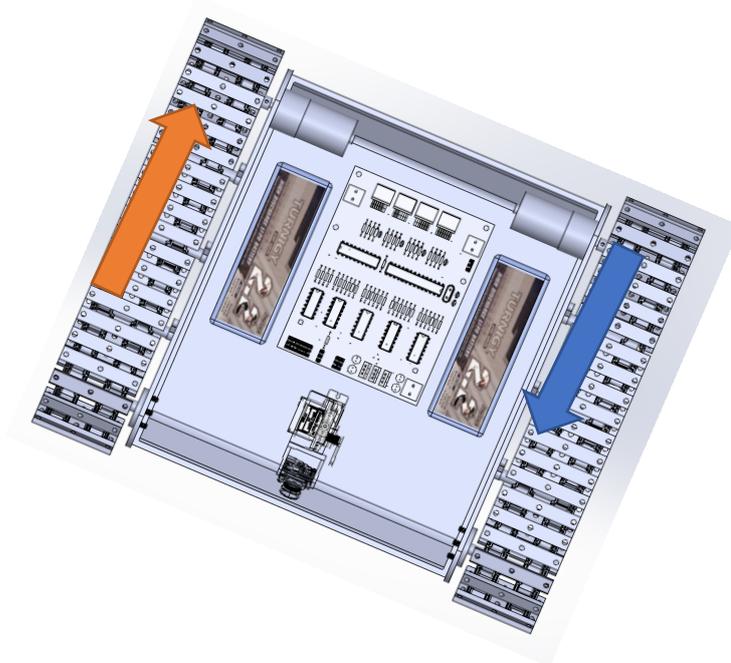


Figura 109.Simulación de movimiento hacia la izquierda
Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Resultados de la prueba 2

Como parte del acondicionamiento de señal se procedió a realizar la amplificación para los sensores que necesitan amplificación de 1.5 a 5. En la figura 110, se muestra el resultado de esta prueba.

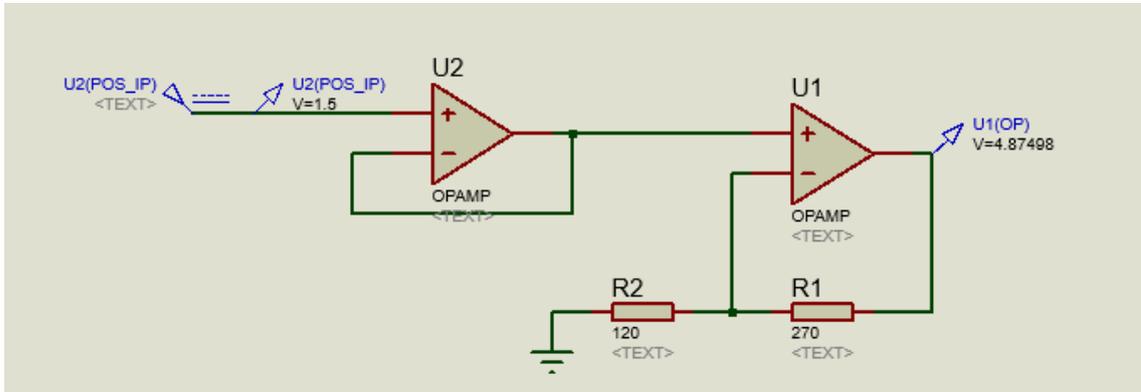


Figura 110. Amplificación 1.5 a 5 Voltio

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, se realizó la validación del diseño del acondicionamiento de señal para los sensores que tiene un voltaje de 0.6 V de offset. En la figura 111 se muestra el resultado para el caso máximo del sensor. Y en la figura 112 para el caso de 0.6 V.

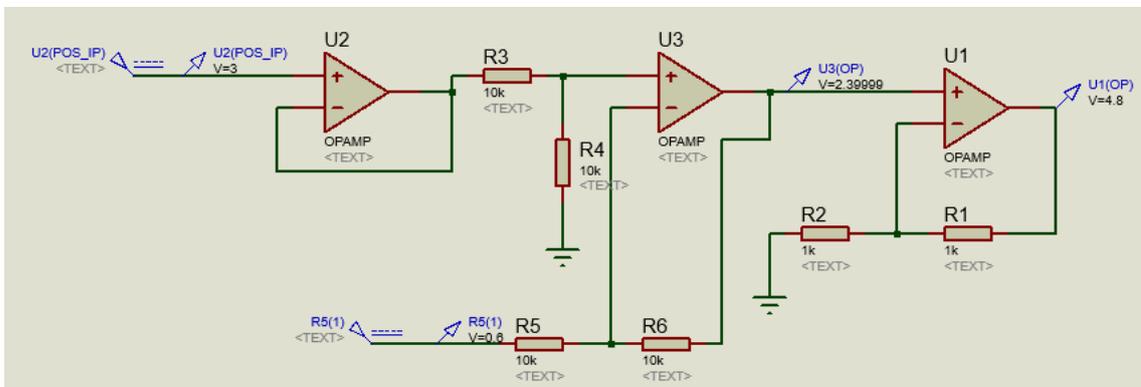


Figura 111. Acondicionamiento para 3 VDC de entrada

Fuente: Elaboración propia

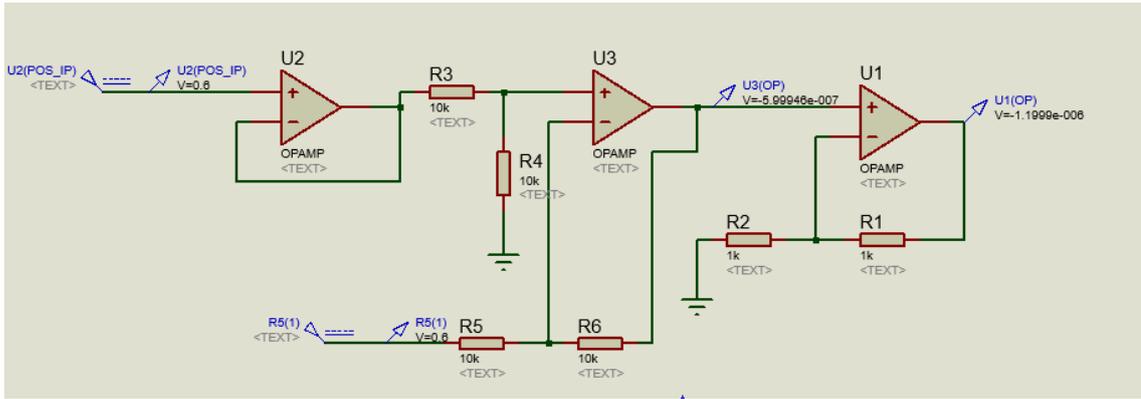


Figura 112. Acondicionamiento para 0.6 VDC de entrada

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Resultados de la prueba 3

Para simular y probar los algoritmos desarrollados en la sección 3.6 se procedió a ensamblar un circuito con componentes con aplicación similar para poder emular la programación desarrollada. Componentes que se usaron para realizar la simulación del primer algoritmo, prueba de motores (ver figura 113).

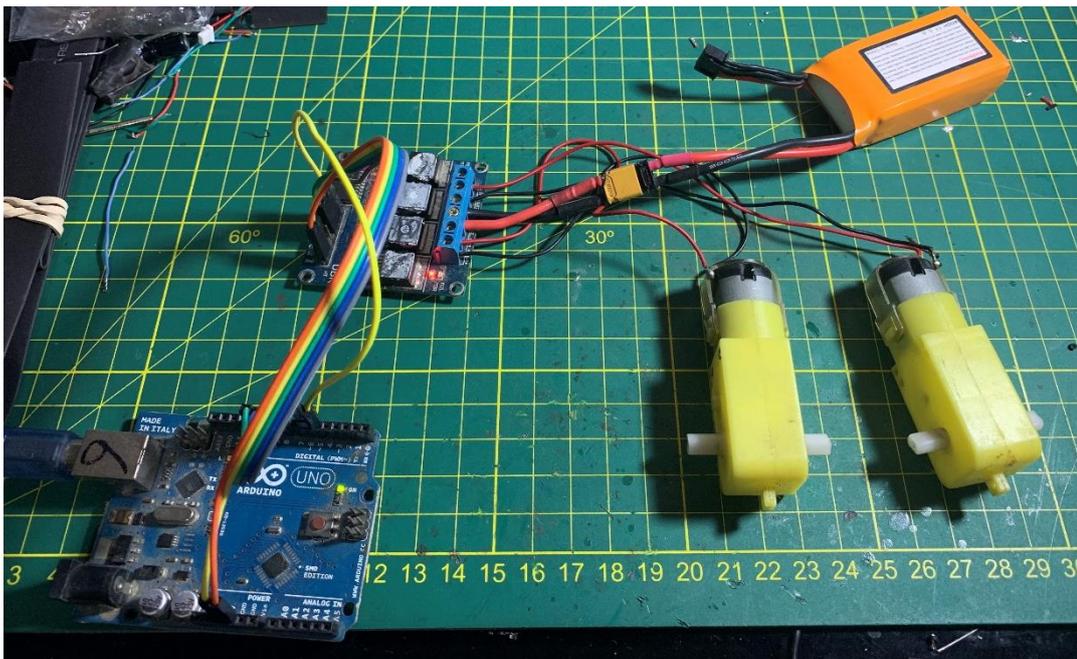
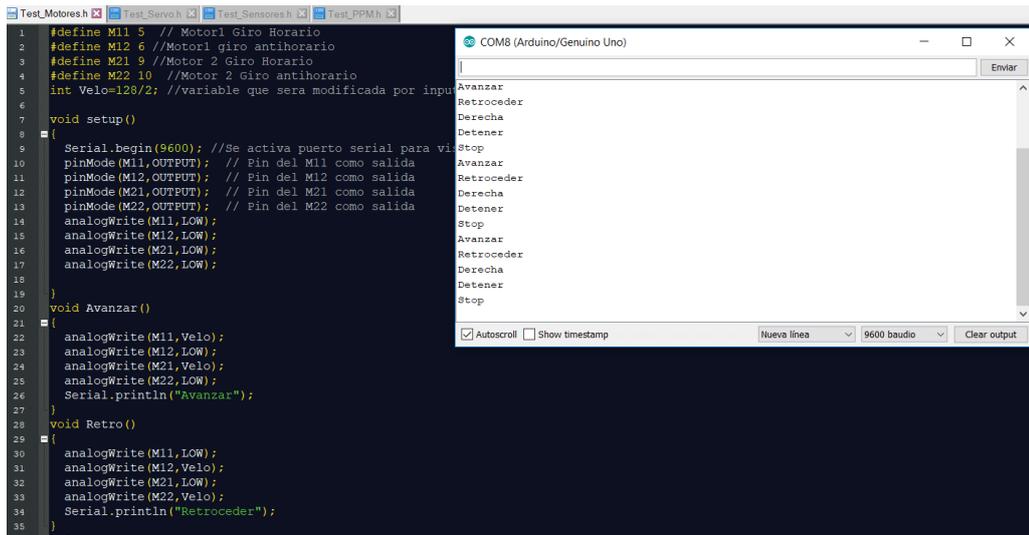


Figura 113. Prueba de motores

Fuente: Elaboración Propia

La información recolectada por el microcontrolador (ver figura 114).



```
1 #define M11 5 // Motor1 Giro Horario
2 #define M12 6 //Motor1 giro antihorario
3 #define M21 9 //Motor 2 Giro Horario
4 #define M22 10 //Motor 2 Giro antihorario
5 int Velo=128/2; //variable que sera modificada por input
6
7 void setup()
8 {
9   Serial.begin(9600); //Se activa puerto serial para vi
10  pinMode(M11,OUTPUT); // Pin del M11 como salida
11  pinMode(M12,OUTPUT); // Pin del M12 como salida
12  pinMode(M21,OUTPUT); // Pin del M21 como salida
13  pinMode(M22,OUTPUT); // Pin del M22 como salida
14  analogWrite(M11,LOW);
15  analogWrite(M12,LOW);
16  analogWrite(M21,LOW);
17  analogWrite(M22,LOW);
18 }
19
20 void Avanzar()
21 {
22   analogWrite(M11,Velo);
23   analogWrite(M12,LOW);
24   analogWrite(M21,Velo);
25   analogWrite(M22,LOW);
26   Serial.println("Avanzar");
27 }
28 void Retro()
29 {
30   analogWrite(M11,LOW);
31   analogWrite(M12,Velo);
32   analogWrite(M21,LOW);
33   analogWrite(M22,Velo);
34   Serial.println("Retroceder");
35 }
```

COM8 (Arduino/Genuino Uno)

Avanzar
Retroceder
Derecha
Detener
Stop
Avanzar
Retroceder
Derecha
Detener
Stop
Avanzar
Retroceder
Derecha
Detener
Stop

Autoscroll Show timestamp Nueva linea 9600 baudio Clear output

Figura 114. Información Recolectada de los motores

Fuente: Elaboración propia

El resultado, fue el esperado, los motores realizaron los movimientos tal y como se plantearon en el diseño.

Para el control del sistema de visión en primera persona, en la figura 115, se conectaron 2 servomotores hacia el microcontrolador para simular el correcto movimiento de los servomotores.

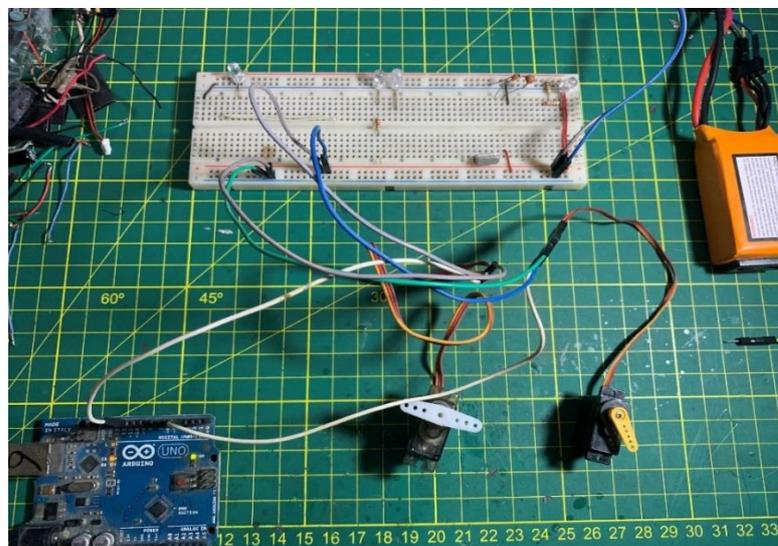


Figura 115. Prueba de dos servomotores en simultáneo

Fuente: Elaboración propia



Figura 118. Circuito para la simulación de lectura del protocolo PPM

Fuente: Elaboración propia

La información recopilada por el microcontrolador (ver figura 119).

```

COM3
593
11579 separation
1123
1110
599
1095
1095 Data pack 1
586
11574
1123
1104
599
1095
1095 Data pack 2
593
11580
1123
1110
605
1095
1095 Data pack 3
587
11574
1123
....

```

Figura 119. Resultados obtenidos de la prueba

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Resultados finales

En la tabla 20, se resumen los resultados de este proyecto. En la sección de Costos se encuentran detallados los precios de los sensores, actuadores y otros elementos necesarios.

Tabla 20 Resumen de resultados

VARIABLES	INDICADORES	RESULTADOS
Variable 1 (Independiente): Vehículo teleoperado	• Velocidad del sistema Móvil	Velocidad del sistema es una variable necesaria para el cálculo de motores la cual es de 12 km/h. Fue posible diseñar un circuito de potencia capaz de regular la velocidad y giro del sistema.
	• Consumo Eléctrico del Sistema	El consumo teórico del sistema se expresa en el capítulo 3. Cuyo resultado es el siguiente: 62.4
Variable 2 (Dependiente): Medición de Gases	• Porcentaje de gases en el ambiente	El porcentaje de gases es calculado con la ayuda de la información suministrada por el proveedor. Fue posible diseñar el circuito de acondicionamiento de señal para obtener las mediciones de gases deseadas.
	• Tiempo de disipación de Gases	El tiempo de disipación de gases es una variable que se calcularía en operación. Ya que existen diferentes factores que ayudaría a disminuir el tiempo de disipación de gases.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.5. Costos

Los costos de los materiales son mostrados en el capítulo 3 sección 3.6.

El costo de desarrollo de ingeniería del presente proyecto se muestra en la siguiente tabla 21.

Tabla 21 Costos en Ingeniería y Manufactura

Item	Unidades	Precio unitario	Subtotal (S/)
Diseño de ingeniería	540h	15	8100.00
Manufactura	180h	10	1800.00
Total			9800.00

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

Del presente trabajo de tesis, podemos mencionar las siguientes conclusiones:

1. Ha sido posible diseñar y simular un circuito electrónico capaz de medir seis (06) gases tóxicos que existen en los espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa.
2. Ha sido posible diseñar y simular los mecanismos del vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos en espacios confinado en gran minería en la ciudad de Arequipa. Estos fueron diseñados a componentes mecánicos fáciles de encontrar en el mercado peruano.
3. Ha sido posible diseñar una unidad de potencia para el control de los motores del vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos en espacios confinados en gran minería en la ciudad de Arequipa.
4. Ha sido posible diseñar un sistema electrónico para realizar una tele operación y telemetría, adquisición de datos.
5. Habiendo mencionado las principales conclusiones de la presenta investigación, se concluye que el diseño y simulación de un vehículo teleoperado para medición de gases tóxicos en espacios confinados en compañía minera del sur de Perú, se realizó con resultados favorables obtenidos.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

De la presente investigación podemos mencionar las siguientes observaciones:

- 1) Se observa que los componentes a utilizar en este proyecto de tesis principalmente son adquiridos en el extranjero, por lo cual se deberá tener en consideración aproximadamente un (01) mes para su correcta importación.
- 2) Los cálculos realizados en esta aplicación solo aplicaran para esta aplicación ya que los datos y valores calculados son diseñados a medida.

Y también se indica las siguientes recomendaciones:

- 1) Se recomienda que los componentes seleccionados para esta aplicación sean de buena calidad ya que este proyecto de tesis tiene como intención principal reducir los problemas que puede generar el exceso de gases tóxicos para el ser humano.
- 2) Se recomienda tener en consideración tener como base los datos calculados para la fabricación del prototipo del móvil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

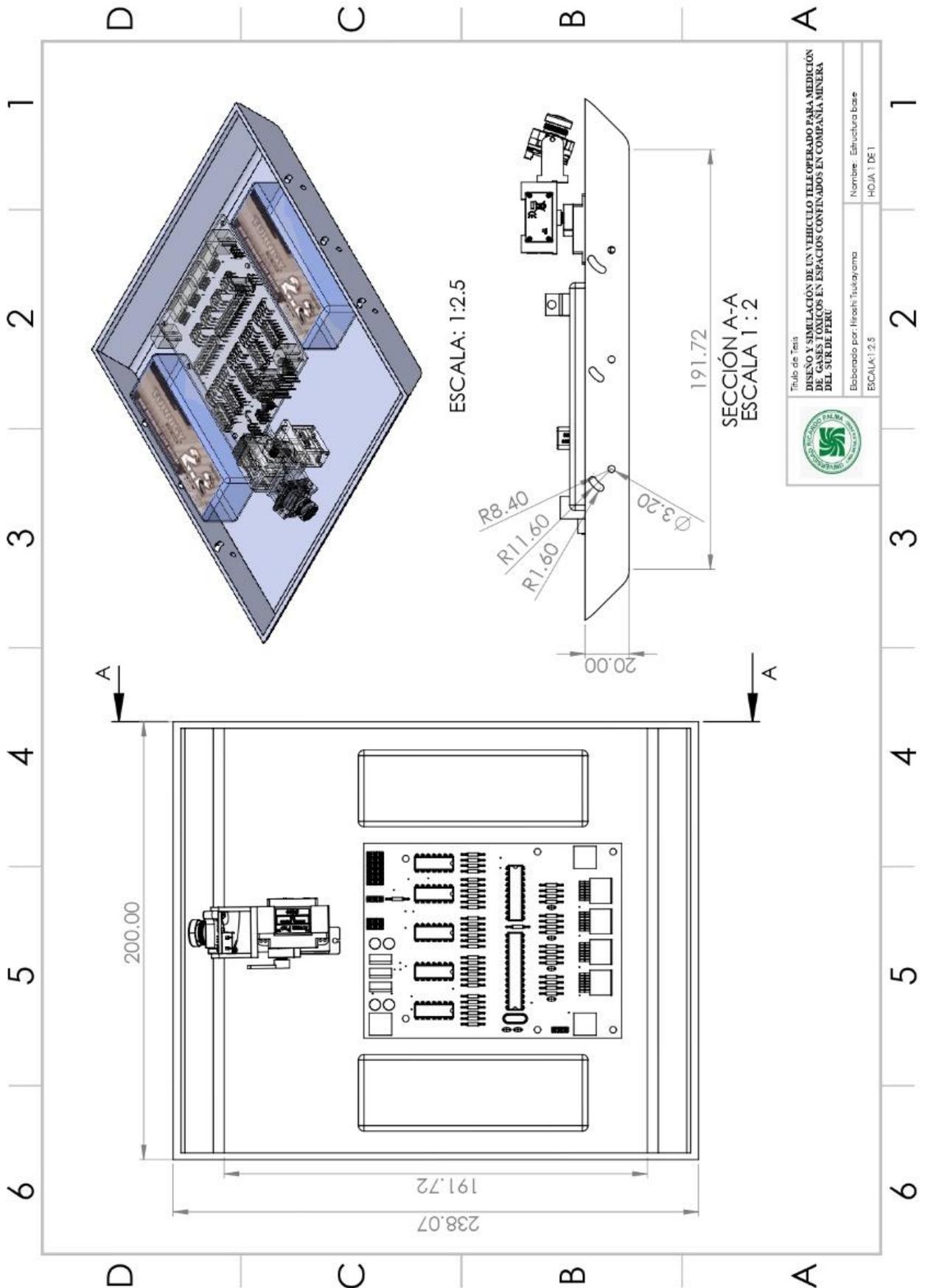
- 023, D. S. (2016). *ANEXO 15*. Obtenido de <https://abjingenieros.com/blog-post/anexos-del-d-s-n-024-2016-em-reglamento-de-seguridad-y-salud-ocupacional-en-mineria/>
- Aracil, R. S. (2006). Maquinas con un pasado para una robotica del futuro. Revista Iberoamericana de automática e informática industrial. *Revista Iberoamericana de automática e informática industrial*, 16-28.
- Arreguín, P. T. (2011). *Vehiculo de Tierra*. Obtenido de <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/430>
- Caballero, L. (2015). *Sistema de Locomocion de Robots Moviles*. Obtenido de <https://docplayer.es/6339318-Sistemas-de-locomocion-de-robots-moviles-automatizacion-y-robotica-industrial-5-ing-industrial.html>
- Canelo, R. &. (2015). Diseño e implementacion de un robot hibrido controlado por simulink y un web server embebido en raspberry Pi. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Catolica del Peru, Lima.
- Chavez, M. (2012). Prototipo de Robot Movil Teleoperado. (*Tesis de Maestria*). Instituto Politecnico Nacional, Querétaro.
- Cristo, A. (2009). *Espectro Electromagnetico*. Obtenido de https://elpais.com/sociedad/2009/01/15/actualidad/1231974010_850215.html
- Diego, R. (2017). Diseño y Simulacion de un brazo robótico de 5 GDL para asistencia de pacientes con parálisis cerebral espástica adaptado en una silla de ruedas. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Disney, R. (Diciembre de 2015). *Robot de Disney que sube paredes*. Obtenido de <https://www.prozesa.com/2015/12/30/vertigo-el-robot-de-disney-que-subeparedes/>
- Ecured. (s.f). *Gases Toxicos*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Gases_t%C3%B3xicos
- Edmundo, J. (2012). Diseño e Implementacion de un robot movil con una esfera de traccion omnidireccional. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Catolica del Peru, Lima.
- Espinoza, M. (s.f). *Espacios Confinados*. Obtenido de https://www.paritarios.cl/prevencion_de_riesgos_Entrada_a_Espacios_Confinados.htm

- Gimenez, X. (Febrero de 2015). *La paradoja de Vulcano*. Obtenido de <http://www.i-ambiente.es/?q=blogs/la-paradoja-de-vulcano-o-sulfurarse-para-vivir-mas>
- Gonzales, O. (s.f). *Estimulacion de la posicion de un robot movil*. Obtenido de <https://oscarliang.com/pwm-ppm-difference-conversion/>
- Gonzalez, U. (03 de 2002). *Robot de Servicio y Teleoperado*. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/teleoperado.htm
- Grupo, B. (s.f). *M2M Telemetria*. Obtenido de <http://www.gpobsi.net/m2m-telemetry.html>
- Hackaday. (2019). *PPM OUTPUT*. Obtenido de <https://hackaday.io/project/2465-manucon-a-glove-based-controller/log/8254-ppm-output>
- Hernandez, J. (2015). *Sistema de Locomocion por Ruedas*. Obtenido de https://lafmia.hds.utc.fr/Ground_Vehicle.html
- J, M. (2011). *La Minería en los Países de desarrollo Aachen*. Obtenido de https://www.misereor.org/fileadmin//user_upload/misereor_org/Publications/spanisch/documento-de-posicion-mineria-en-paises-desarrollo.pdf
- Juarez, J. (2017). Diseño e implementación de un sistema embebido inteligente para silla de ruedas eléctrica utilizada por pacientes parapléjicos. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Juarez, J. (2017). Diseño e Implementación de un sistema embebido inteligente para silla de ruedas eléctricas usadas por pacientes parapléjicos. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Lidefer. (s.f). *Ácido Sulfúrico H₂SO₄: Fórmula, Propiedades, Estructura y Usos*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/acido-sulfhidrico/>
- Linde, G. (2017). *Gases Combustibles*. Obtenido de http://www.linde-gas.com.ar/es/products_and_supply/gases_fuel/index.html
- MACROCONSULT. (2012). *Impacto economico de la minería del Perú*. Obtenido de <https://www.convencionminera.com/perumin31/images/perumin/recursos/OLD/Econom%20B1a%20SNMPE%20Impacto%20econ%20B2mico%20de%20la%20miner%20B1a%20en%20el%20Per%20B3.pdf>
- MecanicAPP. (Enero de 2017). *Modulacion de ancho de pulso -PWM*. Obtenido de <http://mecanicappweb.com/modulacion-de-ancho-de-pulso-pwm/>
- Molina, M. (s.f). *Oxígeno Molecular*. Obtenido de http://quimica.cubaeduca.cu/media/quimica.cubaeduca.cu/medias/sustaciasmolecularesdiytrioxigeno/co/modulo_raiz_dioxigenoytrioxigeno_2.html

- Pedraza, M. (Abril de 2016). *Robots Paralelos*. Obtenido de <http://brazosroboticosejesylineales.blogspot.com/2016/04/brazo-robotico-paralelo.html>
- Perez, C. (s.f). *Capitulo 7:Modificacion de Pulsos*. Obtenido de <https://es.calameo.com/read/00025116184a7e34b225c>
- Ramos, J. (2016). *Sistema de Locomocion mas usado*. Obtenido de <http://www.mecamex.net/Libros/2016-Libro-Ingenieria-Mecatronica-en-Mexico-2016.pdf>
- Sanchez, E. (2002). Implementacion de un Sistema Teleoperado con Reflexion de Fuerza de 6 GDL. (*Tesis de Doctorado*). Universidad de Navarra, España.
- Sensores Electroquimicos*. (s.f.). Obtenido de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/sensores-electroquimicos>
- Trujillo, B. (septiembre de 2015). *Sistema de Traccion*. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/oca/view/20.500.11799/35197/1/secme-21956.pdf>
- Vidal, J. (2014). Sistema de Sensado Remoto para la medición de variables ambientales. (*Tesis de Maestria*). Universidad VeraCruzana, Veracruz.
- Wikipedia. (Marzo de 2015). *Tractor Oruga*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Tractor_oruga
- Wikipedia. (2017). *Valores Comerciales de Resistencia*. Obtenido de <http://electronicadelmilagro.blogspot.com/2017/11/valores-comerciales-de-resistencias.html>
- Wikipedia. (2019). *Motor de Corriente Continua*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua
- Wikipedia. (s.f). *Cambio Climatico Global*. Obtenido de <https://cambioclimaticoglobal.com/dioxido>
- Wikipedia. (s.f). *Intoxicacion por Monoxido de Carbono*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Intoxicaci%C3%B3n_por_mon%C3%B3xido_de_carbono
- Wikipedia. (s.f). *Todo sobre las LIPO*. Obtenido de <https://sandorobotics.com/producto/t2200-3s/>
- Wilson, S. (2014). *Produccion Minera Nacional*. Obtenido de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/A84FA9CD48D5B51605257E5900591616/\\$FILE/ESTADISTICA_PRODUCCION_MINERIA_NACIONAL.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/A84FA9CD48D5B51605257E5900591616/$FILE/ESTADISTICA_PRODUCCION_MINERIA_NACIONAL.pdf)

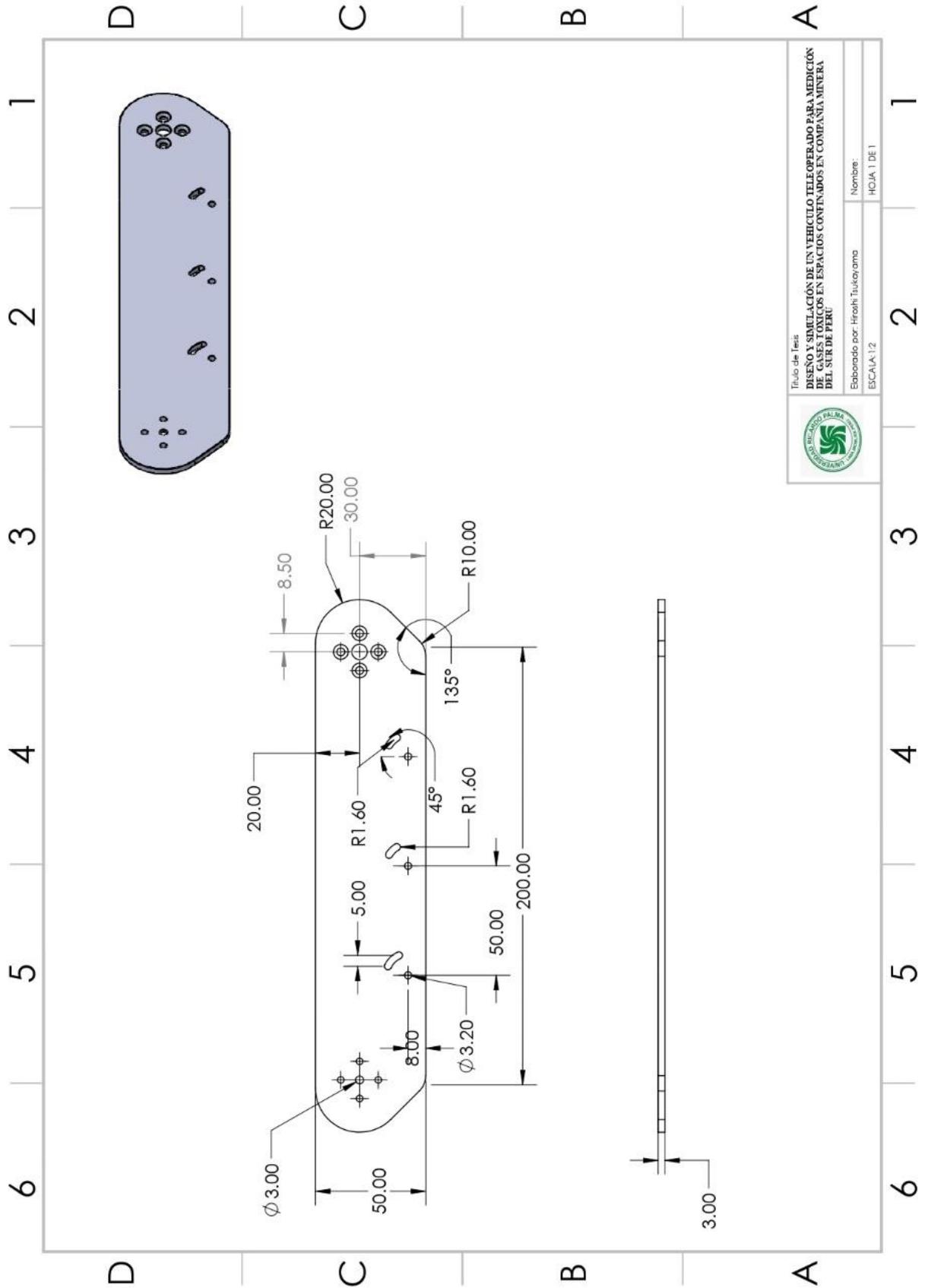
ANEXOS

Anexo 1. Estructura base



	Título de Tesis DISENO Y SIMULACION DE UN VEHICULO TELEOPERADO PARA MEDICION DE GASES TONICOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN COMPAÑIA MINERA DEL SUR DE PERU	
	Elaborado por: Hiroshi Tsukayama	
ESCALA: 1:2.5		Nombre: Estructura base HOJA 1 DE 1

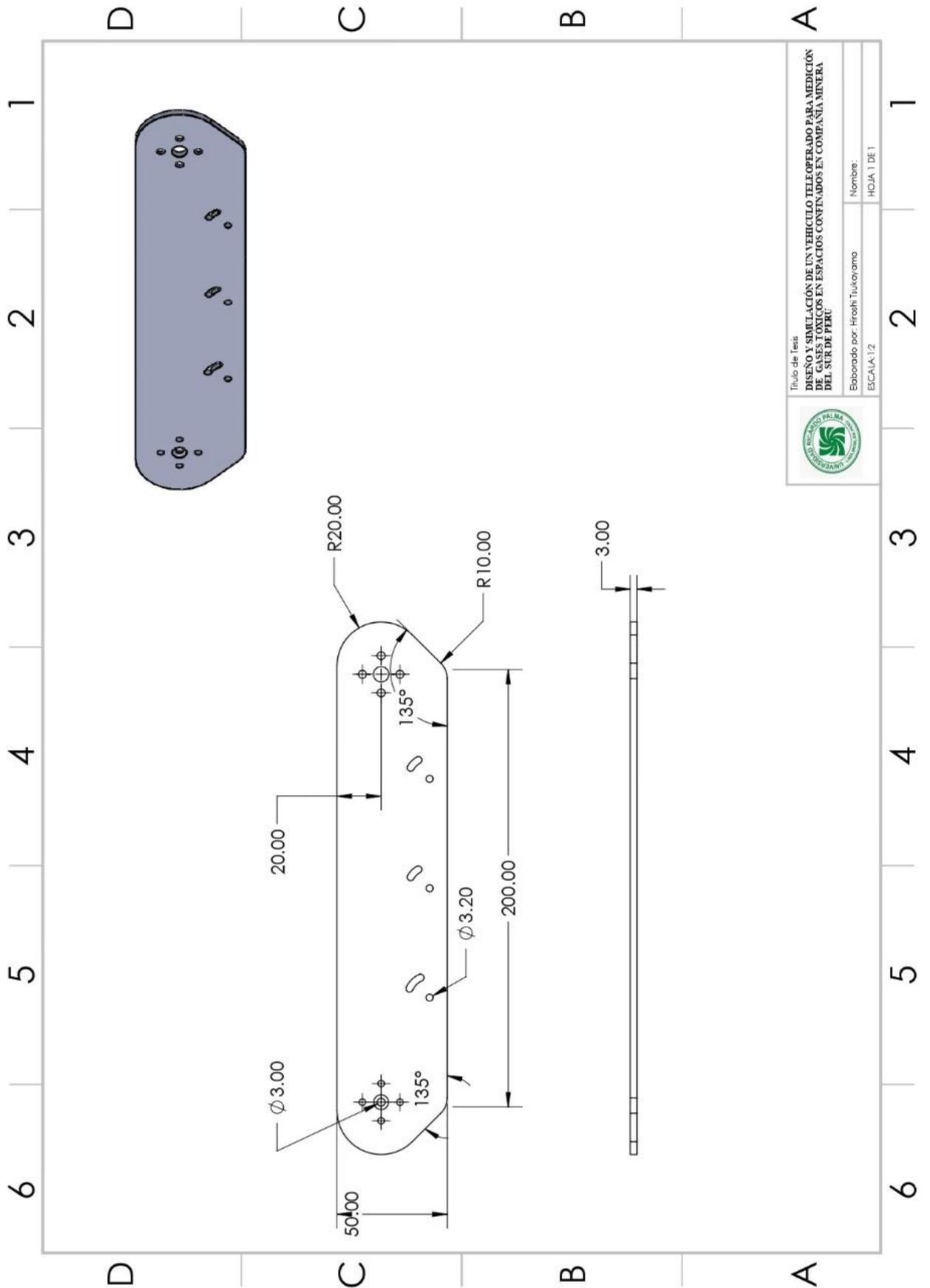
Anexo 2. Lateral izquierdo



Título de Teisit
DISENO Y SIMULACION DE UN VEHICULO TELEOPERADO PARA MEDICION DE GASES TOXICOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN COMPANIA MINERA DEL SUR DE PERU
 Elaborado por: Hiroshi Tsuchiya, ama
 ESCALA: 1:2
 Nombre:
 HOJA: 1 DE 1

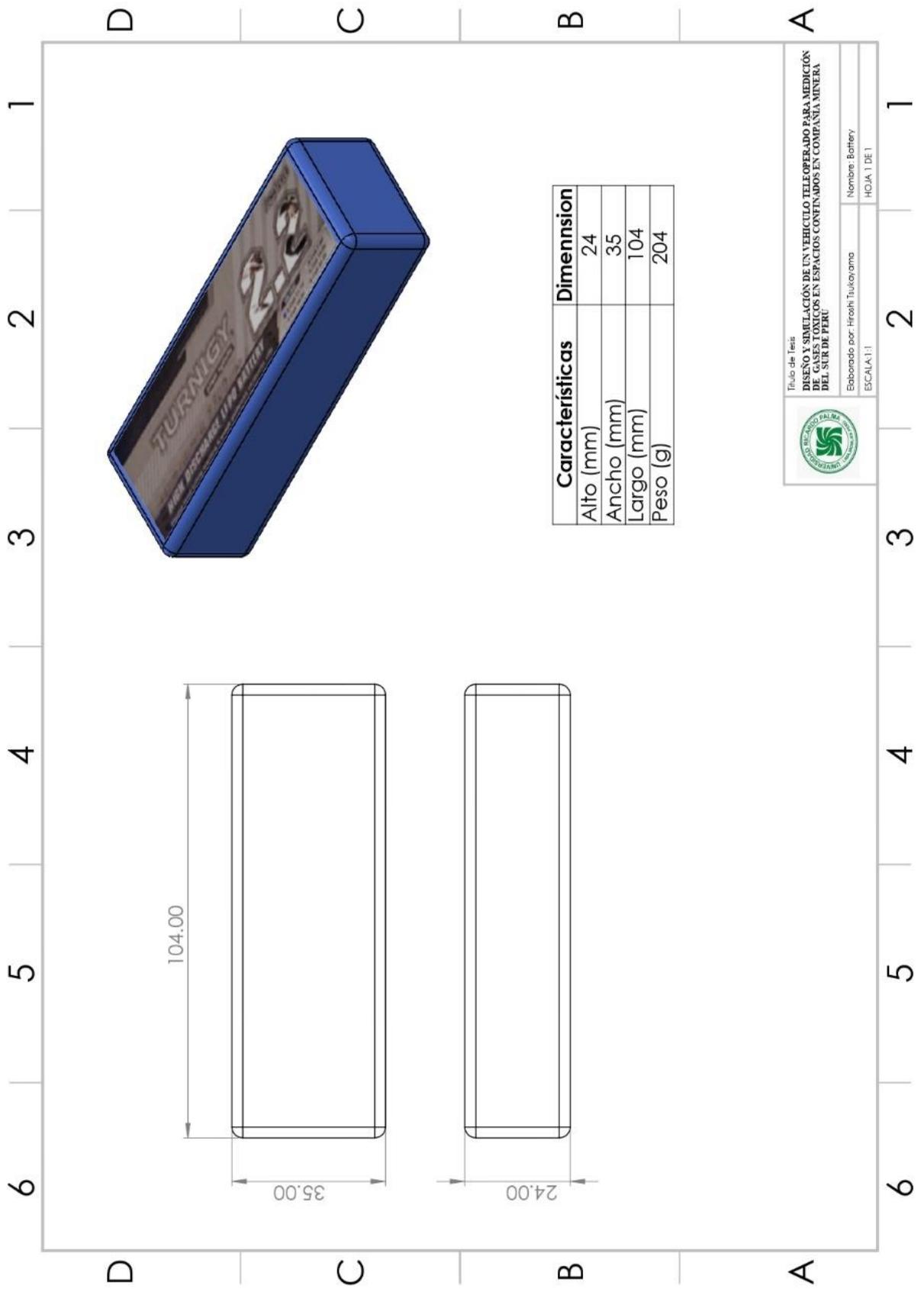


Anexo 3. Lateral derecho



	Título de Tesis: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHICULO TELEOPERADO PARA MEDICIÓN DE GASES TÓXICOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN COMPAÑIA MINERA DEL SUR DE PERU	
	Elaborado por: Hiroshi Tukurayama	Nombre: HOJA 1 DE 1
ESCALA: 1:2		

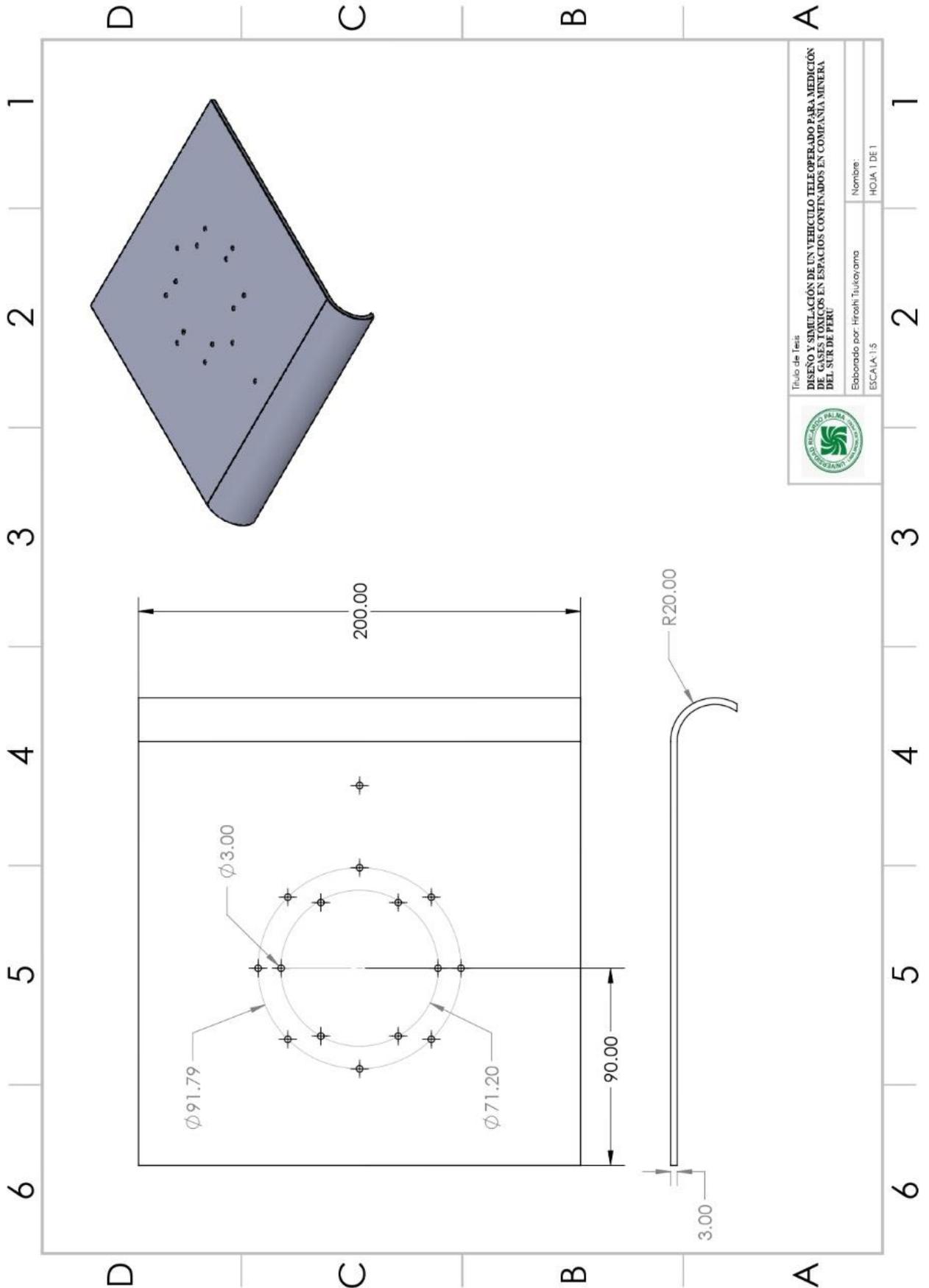
Anexo 4. Batería





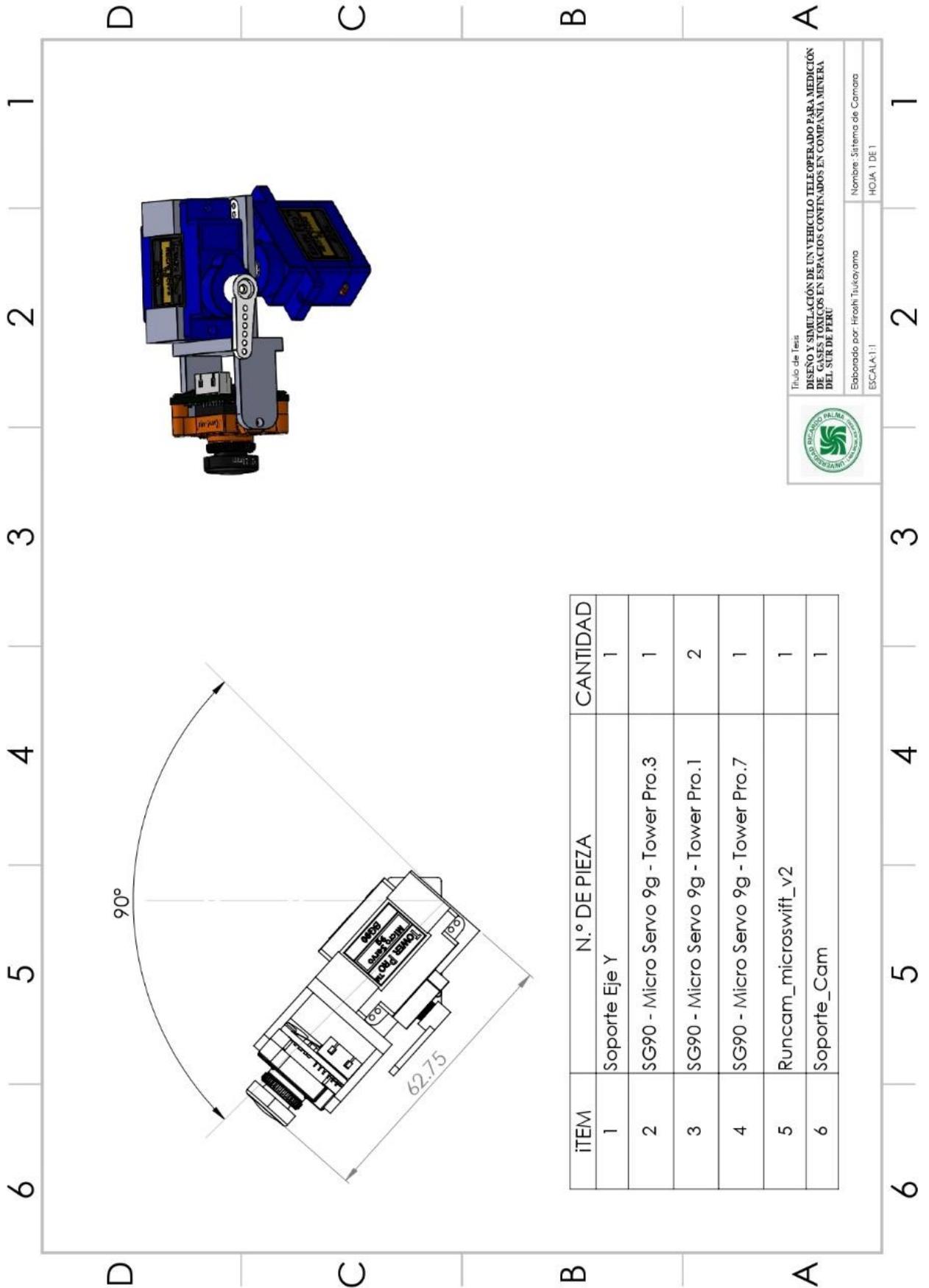
 Título de Tesis:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO PARA MEDICIÓN DE GASES TÓXICOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN COMPAÑÍA MINERA DEL SUR DE PERÚ
 Elaborado por: Hiroshi Tukuyama
 Nombre: Battery
 HOJA 1 DE 1
 ESCALA: 1:1

Anexo 5. Cubierta superior

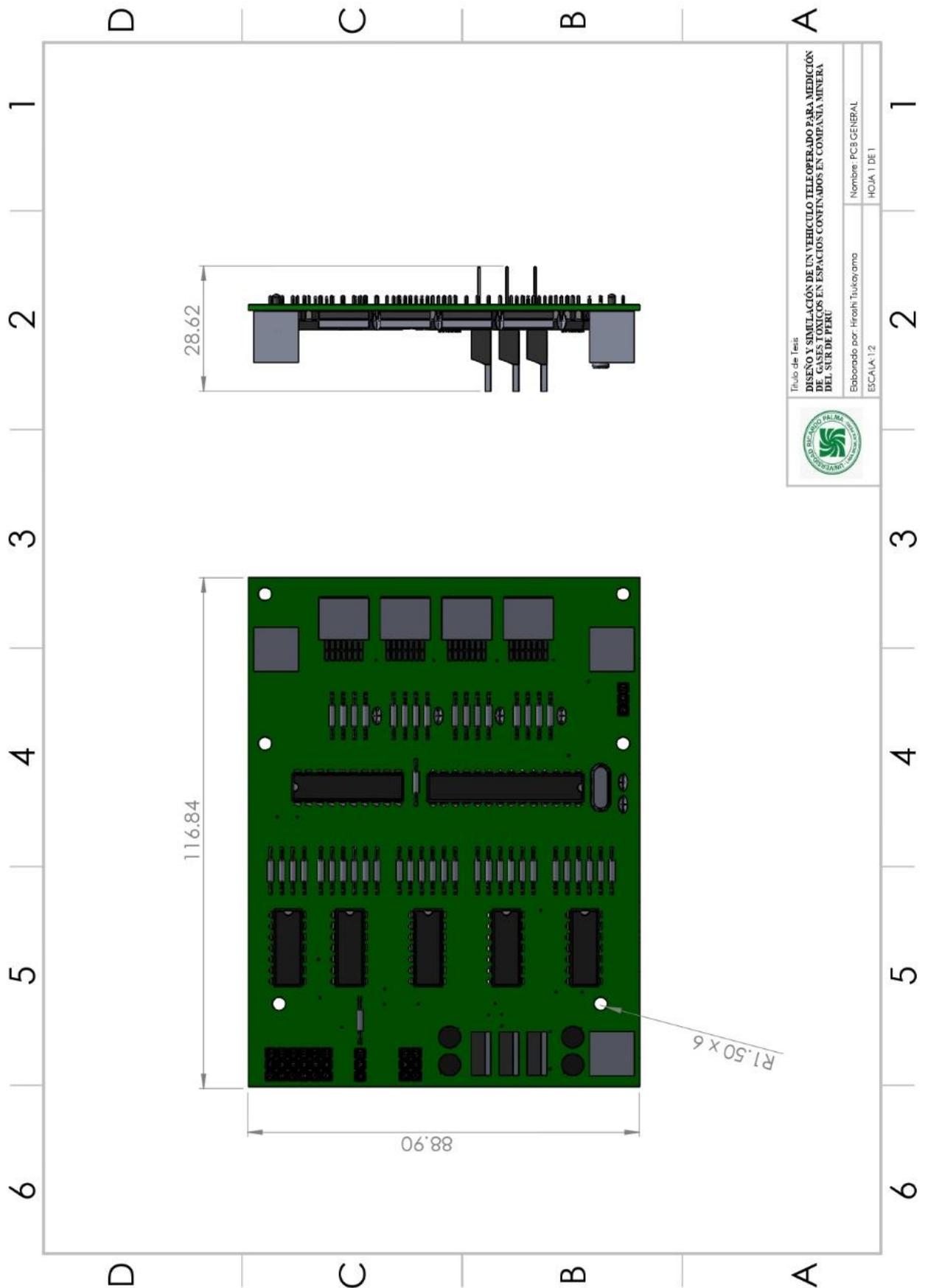


	Título de Tesis DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHICULO TELEOPERADO PARA MEDICIÓN DE GASES TÓXICOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN COMPAÑIA MINERA DEL SUR DE PERÚ	
	Elaborado por: Hiroshi Tsukayama	Nombre: HOJA 1 DE 1

Anexo 6. Sistema de cámara

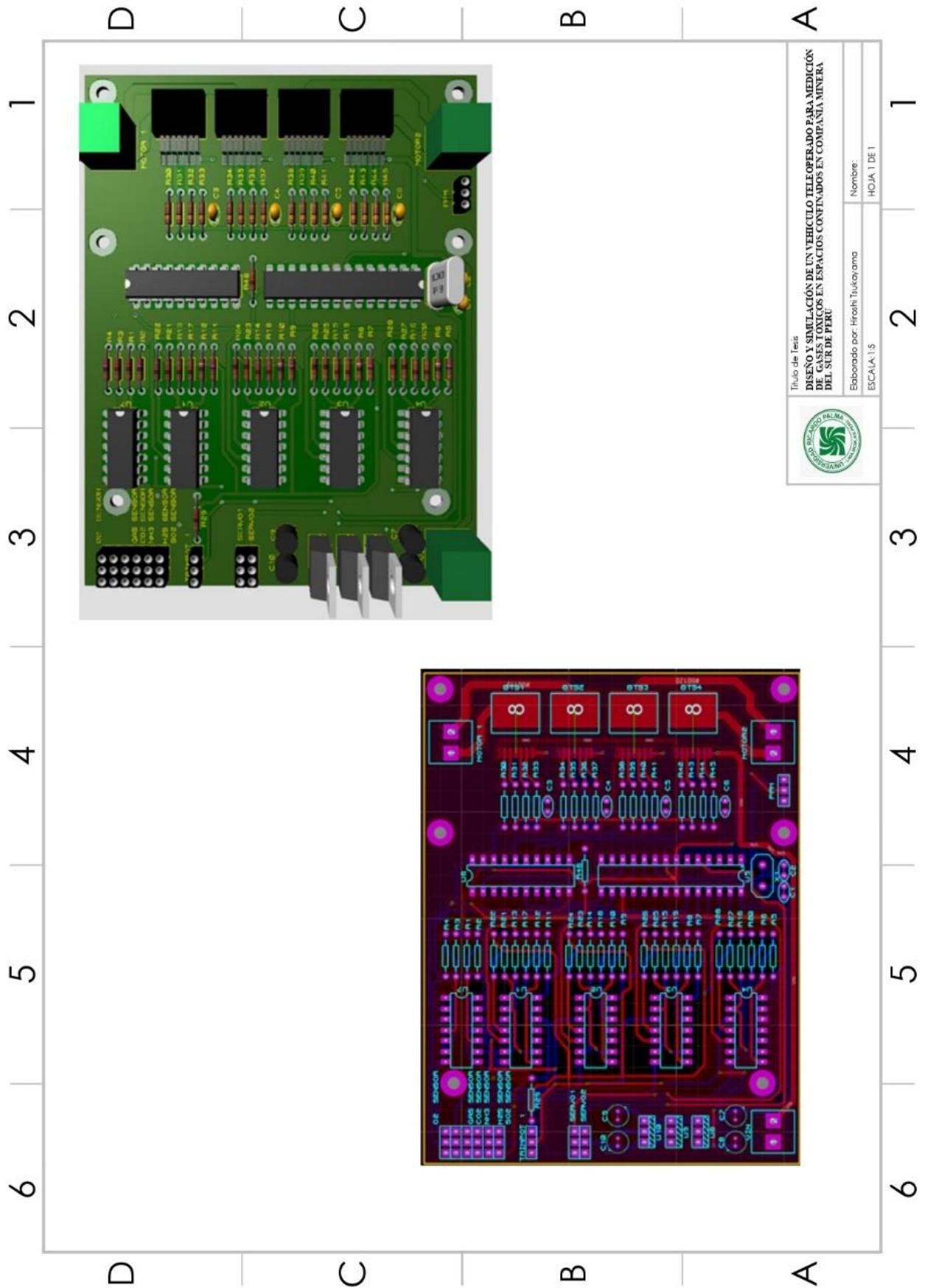


Anexo 7. PCB General



	Título de Tesis DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHICULO TELEOPERADO PARA MEDICIÓN DE GASES TÓXICOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN COMPAÑIA MINERA DEL SUR DE PERÚ
	Elaborado por: Hiroshi Tukuyama ESCAUA-12
Nombre: PCB GENERAL HOJA 1 DE 1	

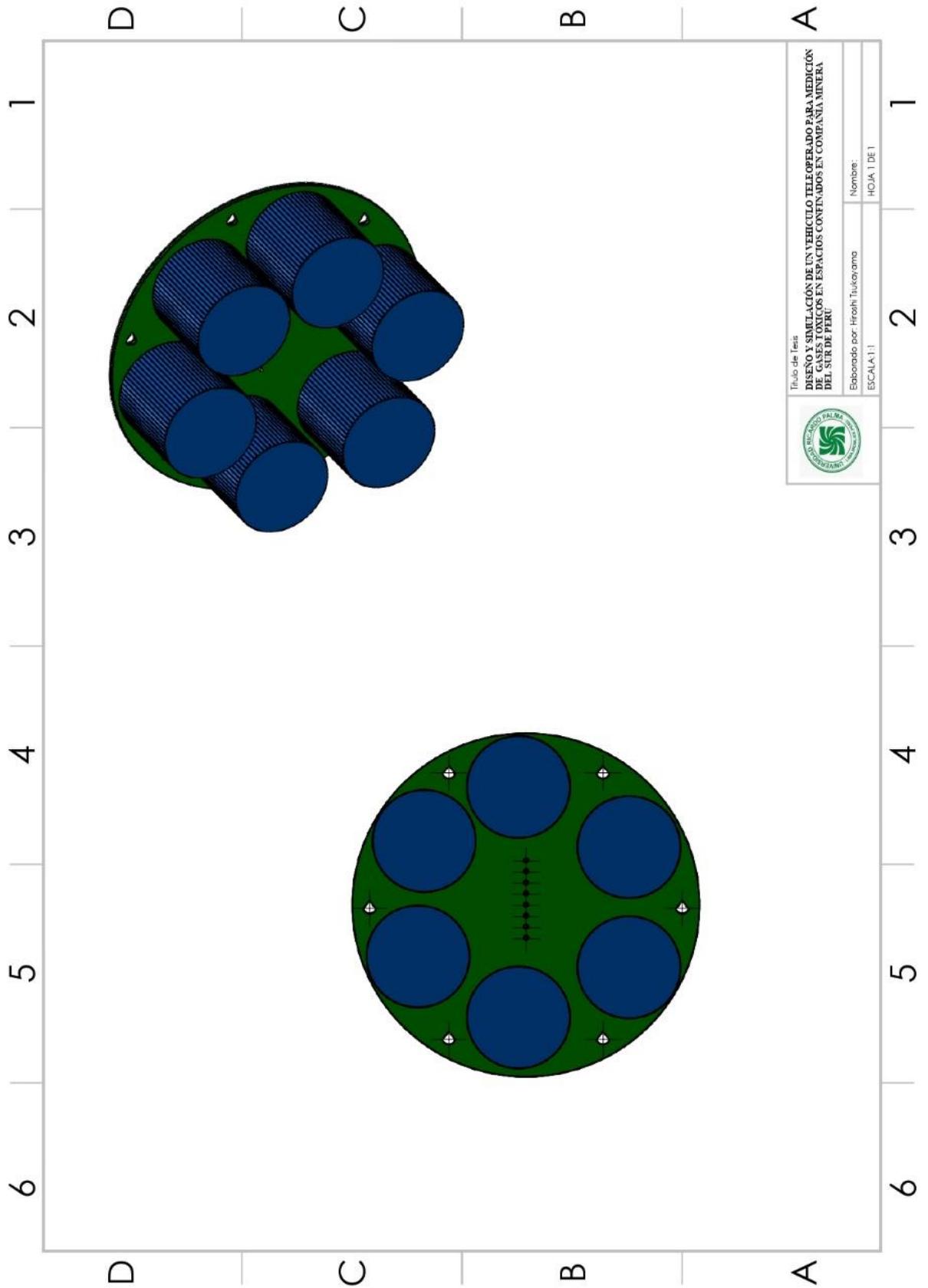
Anexo 8. PCB Ares





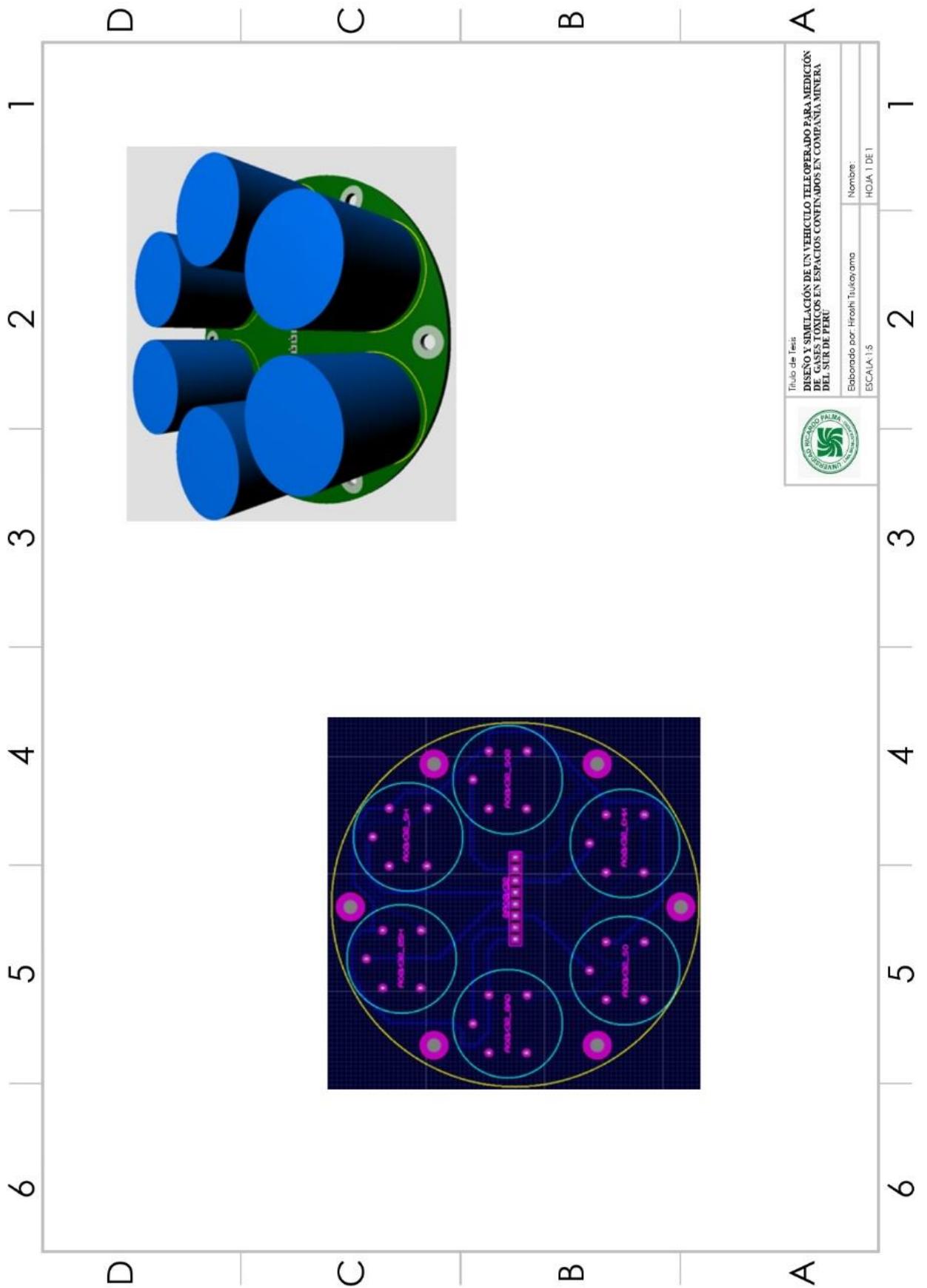
 Título de Tesis
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHICULO TELEOPERADO PARA MEDICION DE GASES TÓXICOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN COMPANIA MINERA DEL SUR DE PERU
 Elaborado por: Hrothi Tukayama
 Nombre:
 ESCAUA-115
 HOJA 1 DE 1

Anexo 9. PCB Sensores



	Título de Tesis: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHICULO TELEOPERADO PARA MEDICION DE GASES TOXICOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN COMPAÑIA MINERA DEL SUR DE PERU	
	Elaborado por: Hiroshi Tukur, ama	Nombre: HOJA 1 DE 1

Anexo 10. PCB Sensor ares



	Título de Tesis: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHICULO TELEOPERADO PARA MEDICIÓN DE CASAS TOXICOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN COMPAÑIA MINERA DEL SUR DE PERU
	Elaborado por: Hiroshi Tuiyayama Nombre: HOJA 1 DE 1

Anexo 11. Prueba motor

6	5	4	3	2	1
D	C	B	A		
<pre> 1 #define M11 5 // Motor1 Giro Horario 2 #define M12 6 //Motor1 giro antihorario 3 #define M21 9 //Motor 2 Giro Horario 4 #define M22 10 //Motor 2 Giro antihorario 5 int Veloc=128/2; //variable que sera modificada por input del operador 6 7 void setup() 8 { 9 Serial.begin(9600); //Se activa puerto serial para visualizar la data en la PC 10 pinMode(M11,OUTPUT); // Fin del M11 como salida 11 pinMode(M12,OUTPUT); // Fin del M12 como salida 12 pinMode(M21,OUTPUT); // Fin del M21 como salida 13 pinMode(M22,OUTPUT); // Fin del M22 como salida 14 analogWrite(M11,LOW); 15 analogWrite(M12,LOW); 16 analogWrite(M21,LOW); 17 analogWrite(M22,LOW); 18 19 } 20 void Avanzar() 21 { 22 analogWrite(M11,Velo); 23 analogWrite(M12,LOW); 24 analogWrite(M21,Velo); 25 analogWrite(M22,LOW); 26 Serial.println("Avanzar"); 27 } 28 void Retro() 29 { 30 analogWrite(M11,LOW); 31 analogWrite(M12,Velo); 32 analogWrite(M21,LOW); 33 analogWrite(M22,Velo); 34 Serial.println("Retroceder"); 35 } 36 void Der() 37 { 38 analogWrite(M11,Velo); 39 analogWrite(M12,LOW); 40 analogWrite(M21,LOW); 41 analogWrite(M22,Velo); 42 Serial.println("Derecha"); 43 } 44 void izq() 45 { 46 analogWrite(M11,LOW); 47 analogWrite(M12,Velo); 48 analogWrite(M21,Velo); 49 analogWrite(M22,LOW); 50 Serial.println("Detener"); 51 } 52 53 void detener() 54 { 55 analogWrite(M11,HIGH); 56 analogWrite(M12,HIGH); 57 analogWrite(M21,HIGH); 58 analogWrite(M22,HIGH); 59 Serial.println("Stop"); 60 } 61 62 void loop() 63 { 64 Veloc=map(analogRead(A0),0,1024,0,255); 65 Avanzar(); 66 delay(2000); 67 Retro(); 68 delay(2000); 69 Der(); 70 delay(2000); 71 izq(); 72 delay(2000); 73 detener(); 74 delay(2000); 75 while(1); 76 } </pre>					
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Trúbo de Teles DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHICULO TELEOPERADO PARA MEDICIÓN DE GASES FUENCOS EN ESPACIOS CONFINADOS EN COMPAÑIA MINERA DEL SUR DEL PERU</p> <p>Elaborado por: Hiroshi Tsuchiyama ESCALA: 1:5</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>Nombre: _____ HOJA 1 DE 1</p> </div> </div>					
6	5	4	3	2	1
D	C	B	A		

Anexo 13. Prueba sensor

6	5	4	3	2	1
D	C	B	A		

```

1 #Define O2 A0
2 #Define GAS A1
3 #Define CO2 A2
4 #Define NH3 A3
5 #Define H2S A4
6 #Define SO2 A5
7
8 void Setup()
9 {
10     Serial.begin(9600); //Se activa puerto serial para visualizar la data en la PC
11 }
12
13
14 void loop()
15 {
16     SeO2=map(analogRead(O2),0,1024,0,25); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-25%
17     SeGAS=map(analogRead(O2),0,1024,0,100); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-100%
18     SeCO2=map(analogRead(O2),0,1024,0,100); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-100PPM
19     SeNH3=map(analogRead(O2),0,1024,0,100); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-100PPM
20     SeH2S=map(analogRead(O2),0,1024,0,100); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-100PPM
21     SeSO2=map(analogRead(O2),0,1024,0,20); //Se escala valor leído nuevo resultado 0-20PPM
22
23     Serial.print("O2= ");
24     Serial.print(SeO2);
25     Serial.print("\tGAS= ");
26     Serial.print(SeGAS);
27     Serial.print("\tCO2= ");
28     Serial.print(SeCO2);
29     Serial.print("\tNH3= ");
30     Serial.print(SeNH3);
31     Serial.print("\tH2S= ");
32     Serial.print(SeH2S);
33     Serial.print("\tSO2= ");
34     Serial.print(SeSO2);
35
36 }
    
```

6	5	4	3	2	1
D	C	B	A		

