

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica -Eléctrica y Mecatrónica



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO TELEOPERADO FOUR WHEEL DRIVE PARA LA DETECCIÓN DE GASES PARA MINERÍA SUBTERRÁNEA EN LA JOYA AREQUIPA 2023

Tesis presentada por el Bachiller:

Coaguila Herrera Henry Joan

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecatrónico

Asesor:

Dr. Siles Nates Fernando David

Arequipa – Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 07 de Septiembre del 2023

Dictamen: 007373-C-EPIMMEM-2023

Visto el borrador del expediente 007373, presentado por:

2015246741 - COAGUILA HERRERA HENRY JOAN

Titulado:

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO TELEOPERADO FOUR WHEEL DRIVE
PARA LA DETECCIÓN DE GASES PARA MINERÍA SUBTERRÁNEA EN LA JOYA AREQUIPA 2023**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**40302702 - QUISPE CCACHUCO MARCELO JAIME
DICTAMINADOR**



**29277716 - CUADROS MACHUCA JUAN CARLOS
DICTAMINADOR**



**42394111 - COLLADO OPORTO CHRISTIAM GUILLERMO
DICTAMINADOR**



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO TELEOPERADO FOUR WHEEL DRIVE PARA LA DETECCIÓN DE GASES PARA MINERÍA SUBTERRÁNEA EN LA JOYA AREQUIPA 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTE QUE CONTIENE COINCIDENCIAS

4

Submitted to Cork Institute of Technology

Trabajo del estudiante

1%

1%

★ Submitted to Cork Institute of Technology

Trabajo del estudiante

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios que me acompaño en todo momento, a mis padres Henry y María luz, que los quiero mucho y que estuvieron ahí apoyándome y motivándome en todo momento. A mi pareja Leydi que nunca dejo de creer en mí y con quien compartimos valiosos momentos juntos. A mi primo Lucho que siempre me brindo su apoyo cuando los necesite, a mis tíos y familiares que me dan su fortaleza. A mis docentes que me enseñaron a seguir adelante y no rendirse, a mis amigos con quien estudiamos y luchamos por salir adelante siempre.

Mi eterna gratitud con todos ustedes, MUCHAS GRACIAS



RESUMEN

El propósito principal del presente trabajo es diseñar y construir un prototipo robótico 4WD, pensado en la gran importancia que tiene la seguridad en los trabajadores de la minería ubicada en La Joya. Con el objetivo de realizar la detección de gases en ambientes a tajo cerrado de gran peligrosidad para los trabajadores y cuyo terreno presenta varias irregularidades como piedras y desniveles. Se diseñará el robot utilizando la metodología de Diseño de la Norma VDI2221 y la realización de pruebas.

El robot 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 presentar en los espacios confinados. Se contará con un cámara wifi en tiempo real, donde el operador manipula y visualiza su recorrido, pudiendo actuar en caso se presenten obstáculos por el camino. Cada detección de gas será monitoreado y visualizado en la computadora mediante su interfaz para ser examinado y determinar el nivel de riesgo en el ambiente.

Al inicio de la investigación hacemos el planteamiento del problema, las justificaciones y/o los objetivos necesarios para esta investigación. Revisamos los antecedentes a la robótica móvil y los diferentes sistemas utilizados en la exploración de ambientes mineros, haciendo particular énfasis en los robots móviles con ruedas necesarios para lograr el objetivo de este estudio.

Una vez conocida la información necesaria se procede a desarrollar el diseño conceptual, construcción y ensamblaje del robot, de la placa de control, pruebas de materiales, el acondicionamiento de los sensores y el hardware del microcontrolador. La creación del control del robot mediante comunicación serial.

Por último, se realizó las pruebas de control al robot y comprobación de los datos obtenidos.

Palabras Clave: Vehículo Teleoperado, Socavón, gases Tóxicos, Minería, 4WD (Four Wheel Drive)



ABSTRACT

The main purpose of this work is to design and build a 4WD robotic prototype, thinking about the great importance of safety for workers in the mining industry located in La Joya. With the objective of detecting gases in closed pit environments of great danger for workers and whose terrain has several irregularities such as rocks and slopes. The robot will be designed using the design methodology of the VDI2221 Standard and testing.

The robot is composed of a control circuit capable of processing and transmitting remotely up to six (06) data of toxic gases that may occur in confined spaces. It will have a wifi camera in real time, where the operator manipulates and visualizes its path, being able to act in case of obstacles along the way. Each gas detection will be monitored and visualized in the computer through its interface to be examined and determine the level of risk in the environment.

At the beginning of the research, we make the problem statement, justifications and/or objectives necessary for this research. We review the background to mobile robotics and the different systems used in the exploration of mining environments, with particular emphasis on mobile robots with wheels necessary to achieve the objective of this study.

Once the necessary information is known, we proceed to develop the conceptual design, construction and assembly of the robot, the control board, materials testing, the conditioning of the sensors and the microcontroller hardware. The creation of the robot control through serial communication.

Finally, the robot control tests and verification of the data obtained were carried out.

Key words: Teleoperated Vehicle, Underground, Toxic gases, Mining, 4WD (Four Wheel Drive).



INTRODUCCION

En nuestro país, la minería es una actividad realizada a pequeña y gran escala, tanto de manera regular como artesanal, que va en crecimiento. Y va modernizándose con el tiempo, avanzando tanto en tecnologías de extracción y procesamiento de minerales como en la seguridad. Aprendiendo de antecedentes buenos y malos, logrando así mejoras constantes para su desarrollo en la entidad minera.

Como comenta Acosta (2017): “La exploración en zonas de alto riesgo como las minas subterráneas en las que se desconoce la concentración de gases (CO₂; CO; SB) es una cuestión, que ha motivado el desarrollo de la robótica móvil en los últimos años. propone una estrategia de exploración y mapeo mediante la tecnología de la Robótica. El sistema ha sido simulado en diferentes situaciones como la pérdida parcial de comunicaciones o de puntos de referencia, utilizando el software ROS. El robot tiene cuatro ruedas, accionadas por cuatro motores eléctricos independientes basado en las condiciones ambientales y de acuerdo con nuestras necesidades y objetivos en la mina”

Como menciona Helguero Velásquez & Medinaceli Tórrez (2020) Nos dicen que: “Uno de los factores que genera la emisión de gases tóxicos es la voladura de roca acompañado de procesos de descomposición de las rocas, los mineros diariamente realizan voladuras para fragmentar la roca y ellos pueden estar propensos a sufrir intoxicaciones que a lo largo de su vida pueden traer complicaciones en su salud. Ante esta problemática pensamos que los robots pueden ser usados para superar estos desafíos. Aunque éstos podrían no estar capacitados para reemplazar completamente a los trabajadores, pero sí para la parte más peligrosa y pesada”.

Como nos informa Gutiérrez Arias, Tocarruncho, Ojeda, & Castellanos (2014) Nos informa que: “Los constantes accidentes presentado en la minería subterránea de carbón tal cuales, como derrumbes, fallas en las paredes de las vías subterráneas, explosiones, etc. Hacen que los trabajadores en este ámbito arriesguen su vida diariamente. El mayor número de accidentes que se presentan se debe a las altas concentraciones de gases que se producen durante el proceso de la extracción del carbón, tales como, Grisú, metano, Monóxido y Dióxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno, Ácido Sulfhídrico y en algunos casos Etano (Venture K.). Para lo cual se crea un prototipo mecatrónico de 4 ruedas, que pueda ingresar a la mina sorteando la mayoría de los obstáculos que se interpongan en su camino, con sensores de gas MQ para tomar a determinadas distancias la medición de la concentración de los diferentes gases, el nivel de humedad y la temperatura. Todo esto en tiempo real y monitorizado de forma inalámbrica desde el exterior de la mina. La importancia de este proyecto radica en que es necesario mejorar las condiciones de trabajo en las minas”.

El principal motivo de la presente investigación es desarrollar un prototipo 4WD teleoperado capaz de movilizarse dentro del socavón, el cual equipado con distintos sistemas y sensores capaces de obtener información de los diferentes tipos de gases tóxicos presentes en los espacios confinados. Tomando datos y mostrado en tiempo real, para un estudio los parámetros encontrados. Evitando así la exposición del personal dentro de la mina.

INDICE

| | |
|--|------------|
| DICTAMEN APROBATORIO..... | I |
| DEDICATORIA..... | II |
| RESUMEN..... | III |
| ABSTRACT..... | V |
| INTRODUCCION..... | VII |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | 20 |
| CAPÍTULO I..... | 21 |
| 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION..... | 21 |
| 1.1. Identificación del problema..... | 21 |
| 1.2. Descripción del problema..... | 22 |
| 1.3. Justificación de la investigación..... | 23 |
| 1.3.1. Justificación académica:..... | 23 |
| 1.3.2. Justificación económica:..... | 24 |
| 1.3.3. Justificación tecnológica:..... | 24 |
| 1.3.4. Justificación social:..... | 25 |
| 1.4. Objetivos de la investigación..... | 25 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 25 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 25 |

| | | |
|-------------------------------|---|-----------|
| 1.5. | Alcances..... | 26 |
| 1.6. | Limitaciones | 26 |
| CAPITULO II | | 28 |
| 2. MARCO TEORICO | | 28 |
| 2.1. | Estado del Arte | 28 |
| 2.1.1. | Antecedentes de la Investigación..... | 28 |
| 2.1.2. | Antecedentes a nivel nacional | 29 |
| 2.1.3. | Antecedentes a nivel internacional | 31 |
| 2.1.4. | Robótica..... | 32 |
| 2.1.4.1. | <i>Robots Móviles</i> | 33 |
| 2.1.4.2. | <i>Locomoción de los robots Móviles</i> | 33 |
| 2.1.4.3. | Locomoción de Ruedas | 34 |
| 2.1.4.4. | <i>Tipos de Sistemas de Locomoción por tracción Omnidireccional</i> | 36 |
| 2.1.5. | Vehículos Terrestres:..... | 37 |
| 2.1.6. | Teleoperación | 38 |
| 2.2. | Teoría Básica | 39 |
| 2.2.1. | Arduino IDE | 39 |
| 2.2.2. | Atmega 2560..... | 40 |
| 2.2.3. | SolidWorks | 42 |
| 2.2.5. | Sensor de CO2 o calidad de aire MQ-135..... | 43 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.2.6. | Sensor de Gas MQ-2..... | 45 |
| 2.2.7. | Sensor de Gás NH3 MQ-4..... | 46 |
| 2.2.8. | Sensor n2s Arduino MIC-6814..... | 47 |
| 2.2.9. | Elaboración de la Placa Elaboración Propia..... | 48 |
| 2.2.10. | Cámara Seisa NA9 con Wifi..... | 49 |
| 2.2.11. | Dual h-bridge DC L298N Módulo de controlador de Motor | 49 |
| 2.2.12. | Nrf24l01..... | 50 |
| CAPITULO III..... | | 52 |
| 3. DISEÑO Y CONTRUCCION DEL PROTOTIPO..... | | 52 |
| 3.1. | Metodología de Diseño:..... | 52 |
| 3.1.1. | Norma VDI 2221 | 52 |
| 3.2. | Lista de Deseos y Exigencias | 53 |
| 3.3. | Blackbox General | 55 |
| 3.4. | Estructura De Funciones..... | 55 |
| 3.4.1. | Funciones..... | 55 |
| 3.4.1.1. | Arranque:..... | 55 |
| 3.4.1.2. | Parte Mecánica: | 57 |
| 3.4.1.3. | Parte de la programación para desplazamiento y envío de señales de los Sensores | 57 |
| 3.5. | Portadores De Funciones | 58 |

| | | |
|--------------------------------|---|-----------|
| 3.6. | Criterios De Selección | 62 |
| 3.6.1. | Criterio Técnico | 62 |
| 3.6.2. | Criterio Económico..... | 63 |
| 3.7. | Blackbox Detallada..... | 64 |
| 3.8. | Diseño Preliminar | 64 |
| 3.8.1. | Elaboración de Bocetos | 64 |
| 3.9. | Determinación de Características | 66 |
| 3.9.1. | Controlador..... | 66 |
| 3.9.2. | Selección De Actuadores..... | 69 |
| 3.9.2.1. | Selección de Motor con Reductora | 72 |
| 3.9.3. | Selección de Baterías..... | 73 |
| 3.9.4. | Selección de Comunicación Inalámbrica..... | 74 |
| CAPITULO IV | | 77 |
| 4. PRUEBAS Y RESULTADOS | | 77 |
| 4.1. | Comprobación de Envío de Señales de los Sensores..... | 77 |
| 4.2. | Análisis de Esfuerzo | 78 |
| 4.3. | Resultado De Análisis De Esfuerzo..... | 81 |
| 4.4. | Diseño Del Circuito PCB | 87 |
| 4.4.1. | Diagrama de Flujo de Control Inalámbrico..... | 88 |

| | | |
|---------------------------------------|---|------------|
| 4.5. | Diagrama General de Conexiones | 90 |
| 4.6. | Pruebas de Interfaz Interactivo Virtual..... | 91 |
| 4.6.1. | Prueba de Sensores | 91 |
| 4.6.2. | Pruebas de Estructura y Desplazamiento del Robot..... | 93 |
| 4.7. | Pruebas de Sensores Interior Mina. | 94 |
| 4.8. | Datos del sensor Altair usado en mina | 98 |
| 4.9. | Comparación de Resultados | 99 |
| 4.10. | Resultados del Proyecto..... | 100 |
| 4.11. | Costos del desarrollo del Diseño y Construcción..... | 101 |
| CONCLUSIONES..... | | 104 |
| RECOMENDACIONES..... | | 106 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA | | 107 |
| ANEXOS..... | | 118 |

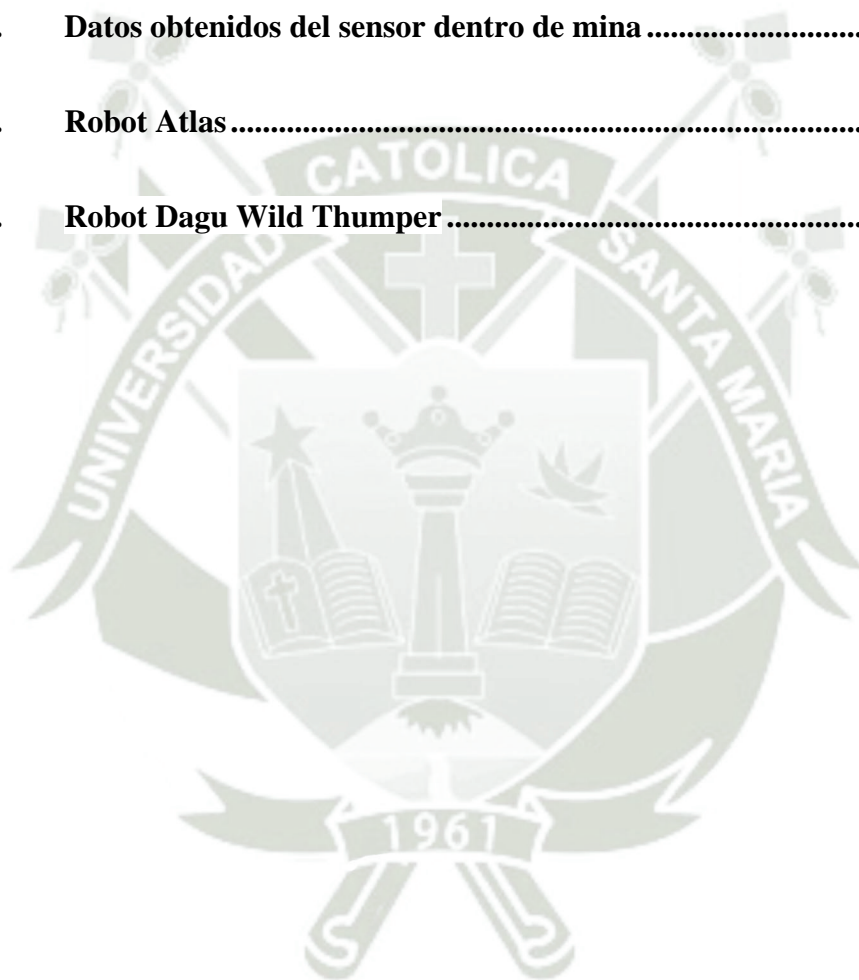
INDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Figura1. | Desplazamiento de un robot móvil..... | 34 |
| Figura2. | Sistema de Locomoción por ruedas | 35 |
| Figura3. | Sistemas de tracción para desplazamiento con ruedas | 36 |
| Figura4. | Robots omnidireccionales | 37 |
| Figura5. | Robot Minero para detección de gases | 37 |
| Figura6. | Teleoperacion de Robots con Operador | 39 |
| Figura7. | Interfaz Arduino IDE | 40 |
| Figura8. | Microcontrolador Atmega 2560 | 41 |
| Figura9. | SolidWorks | 42 |
| Figura10. | Impresora 3D | 43 |
| Figura11. | Sensor MQ-135 | 44 |
| Figura12. | Canales de Onda | 44 |
| Figura13. | Sensor MQ-2 | 45 |
| Figura14. | Sensor MQ-4 | 46 |
| Figura15. | Sensor n2s Arduino MIC-6814..... | 48 |
| Figura16. | Placa del prototipo..... | 48 |
| Figura17. | Camara Seisa NA9..... | 49 |

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Figura18. | Modelo Dual H-bridge DC..... | 50 |
| Figura19. | Modelo Nrf24l01 | 51 |
| Figura20. | Blackbox general..... | 55 |
| Figura21. | Control del controlador L298n a los motores | 56 |
| Figura22. | Bosquejo de Conexión de los motores con los l298n en paralelo | 57 |
| Figura23. | Secuencia de envío y Recepción de Señales | 57 |
| Figura24. | Blackbox | 64 |
| Figura25. | Boceto 1..... | 64 |
| Figura26. | Boceto 2..... | 65 |
| Figura27. | Boceto 3..... | 65 |
| Figura28. | Atmega 2560..... | 69 |
| Figura29. | Motor DC con reductora Buelher 12V a 500 Rpm..... | 71 |
| Figura30. | Resultados de la Conexión entre ambos Dispositivos | 77 |
| Figura31. | Resultados del envío de señales de los sensores al Mando de Control | 78 |
| Figura32. | Robot 4WD en SolidWorks 2019 | 78 |
| Figura33. | Análisis interno Robot 4WD en SolidWorks 2019 | 79 |
| Figura34. | Esfuerzo de Von Mises esfuerzo máximo en el Chasis Inferior | 81 |
| Figura35. | Esfuerzo del Movimiento de la carga (STRN) en el Chasis Inferior..... | 82 |

| | | |
|------------------|---|-----------|
| Figura36. | Esfuerzo del Índice de desplazamiento (URES) en el Chasis Inferior | 82 |
| Figura37. | Esfuerzo de Von Mises esfuerzo máximo en el Chasis Superior | 83 |
| Figura38. | Esfuerzo del Movimiento de la carga (STRN) en el Chasis Superior | 83 |
| Figura39. | Esfuerzo del Índice de desplazamiento (URES) en el Chasis Superior | 84 |
| Figura40. | Esfuerzo de Von Mises esfuerzo máximo en el Soporte del Motor | 84 |
| Figura41. | Esfuerzo del Movimiento de la carga (STRN) en el Soporte del Motor | 85 |
| Figura42. | Esfuerzo del Índice de desplazamiento (URES Soporte del Motor..... | 85 |
| Figura43. | Esfuerzo de Von Mises esfuerzo máximo en la Tapa del Chasis..... | 86 |
| Figura44. | Esfuerzo del Movimiento de la carga (STRN) en la Tapa del Chasis | 86 |
| Figura45. | Esfuerzo del Índice de desplazamiento (URES) en la Tapa del Chasis | 87 |
| Figura46. | Diagrama de flujo de control de robot..... | 89 |
| Figura47. | Diagrama general de conexiones del prototipo | 90 |
| Figura48. | Conexión General del Mando de Prueba | 90 |
| Figura49. | Grafica Toma de muestra de Sensores en Excel..... | 93 |
| Figura50. | Primera vista del Robot ensamblado | 93 |
| Figura51. | Primera prueba con obstáculos | 94 |
| Figura52. | Entrada al interior de la mina | 94 |
| Figura53. | Pruebas en tiempo real en el interior de la mina | 95 |

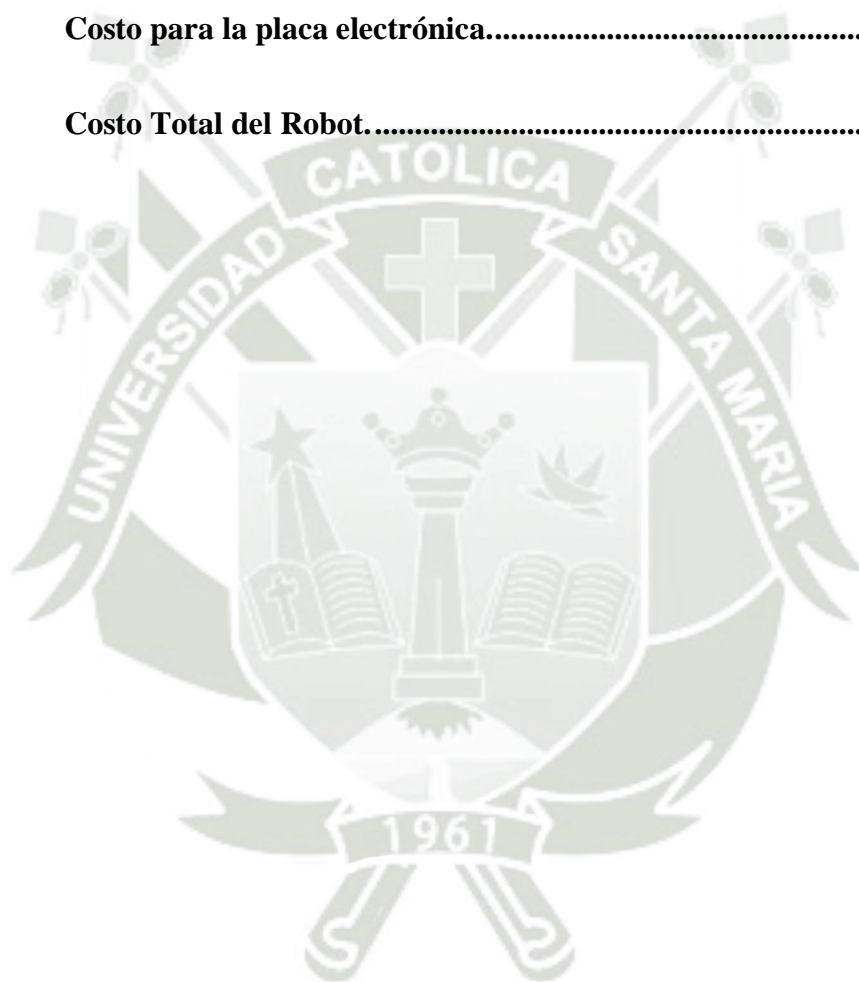
| | | |
|------------------|---|------------|
| Figura54. | Primera prueba a 8 metros en el interior de la mina | 95 |
| Figura55. | Segunda prueba en el interior de la mina a mayor de 15 metros..... | 96 |
| Figura56. | Tercera prueba después de la extracción de gas..... | 97 |
| Figura57. | Modelo Altair 4XR MSA | 98 |
| Figura58. | Datos obtenidos del sensor dentro de mina | 98 |
| Figura59. | Robot Atlas | 121 |
| Figura60. | Robot Dagu Wild Thumper | 122 |



INDICE DE TABLAS

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Tabla 1. | Características de microcontrolador Atmega 2560 | 40 |
| Tabla 2. | Lista de Deseos y exigencias..... | 54 |
| Tabla 3. | Lista de funciones del L298N..... | 56 |
| Tabla 4. | Principios Tecnológicos..... | 58 |
| Tabla 5. | Ponderaciones – Criterio Técnico..... | 62 |
| Tabla 6. | Ponderaciones – Criterio Económico..... | 63 |
| Tabla 7. | Tabla de Bocetos | 65 |
| Tabla 8. | Características de Placas..... | 66 |
| Tabla 9. | Ponderaciones – BOCETOS..... | 68 |
| Tabla 10. | Selección de Motores | 72 |
| Tabla 11. | Selección de la Batería..... | 74 |
| Tabla 12. | Características comunicación inalámbrica..... | 75 |
| Tabla 13. | Características Robot 4WD..... | 76 |
| Tabla 14. | Componentes para el análisis de resistencia..... | 80 |
| Tabla 15. | Leyenda de la toma de datos con los sensores..... | 97 |
| Tabla 16. | Tabla de comparación de los datos obtenidos antes de la extracción de gas . | 99 |
| Tabla 17. | Tabla de comparación de los datos obtenidos despues de la extracción de gas | |

| | | |
|------------------|---|------------|
| Tabla 18. | Porcentajes de Gases en la atmosfera | 100 |
| Tabla 19. | Costo para la placa electrónica..... | 101 |
| Tabla 20. | Costo para la Estructura..... | 102 |
| Tabla 21. | Costo para la placa electrónica..... | 102 |
| Tabla 22. | Costo para la placa electrónica..... | 103 |
| Tabla 23. | Costo Total del Robot..... | 103 |



LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|---------------|--|
| <i>4wd</i> | <i>Four Wheel Drive (Tracción en las cuatro ruedas)</i> |
| <i>Ch4</i> | <i>Metano</i> |
| <i>Co</i> | <i>Monóxido de carbono</i> |
| <i>Dc</i> | <i>Corriente Directa</i> |
| <i>EEPROM</i> | <i>(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)</i> |
| <i>GNU</i> | <i>Licencia Pública General (General Public License)</i> |
| <i>Ide</i> | <i>Entorno de desarrollo integrado</i> |
| <i>IoT</i> | <i>Internet de las cosas (Internet Of the Things)</i> |
| <i>MSA</i> | <i>Análisis de Sistema de Medición</i> |
| <i>Nh3</i> | <i>Amoniaco</i> |
| <i>No2</i> | <i>Dióxido de Carbono</i> |
| <i>Pcb</i> | <i>Placa de circuito impreso</i> |
| <i>RISC</i> | <i>Reduced Instruction Set Computer</i> |
| <i>ROS</i> | <i>Robot Operating System</i> |
| <i>Sram</i> | <i>Memoria de Acceso Aleatorio Estático</i> |
| <i>Strn</i> | <i>Esfuerzo del Movimiento de la carga</i> |
| <i>Uart</i> | <i>Receptor-transmisor asíncrono universal</i> |
| <i>Ures</i> | <i>Esfuerzo del Índice de desplazamiento</i> |
| <i>Vdi</i> | <i>Verein Deutscher Ingenieure (Asociación de Ingenieros Alemanes)</i> |

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

1.1. Identificación del problema

A lo largo de los últimos años, en la ciudad de Arequipa, se ha visto un notable aumento del campo minero, lo cual genera incremento de puestos de trabajo en diversos campos y especialidades, asimismo, el enfoque en bioseguridad está teniendo más realce y cuidado, debido a diversos accidentes laborales por no contar con medidas preventivas básicas, es por ellos que las empresas mineras buscan dar todas las medidas preventivas y de seguridad a sus trabajadores.

Los trabajos realizados en socavones o espacios confinados son uno de los principales factores de riesgo para accidentes laborales, en parte por la creación de gases tóxicos que las minas expanden para la extracción del mineral y la geografía adversa, generando riesgos de inhalación, caídas o entierros.

En la gran mayoría de empresas mineras se cuenta con detectores de gases los cuales ayudan a detectarlos y poder salvaguardar la integridad de los trabajadores, evitando la exposición a estos gases que pueden ocasionar hasta la muerte.

A pesar de que se cuenta con este tipo de tecnología en las diferentes mineras, no se ha podido controlar de manera adecuada la exposición a los gases, lo cual pone en riesgo al personal que labora en la mina, puesto que las diferentes mediciones se tienen que realizar con equipos de manera manual, debido a que no existe otra manera de determinar la posibilidad de realizar trabajos en los espacios confinados.

1.2. Descripción del problema

Cuando una minera se encarga de la extracción de oro en la modalidad de socavón, libera gases como Calidad de aire, Gas y Humo, Óxido nitroso(N_2O), Monóxido de carbono (CO), Amoníaco (NH_3), Metano (CH_4), los cuales se quedan en la zona y deben ser ventilados para diluirlos hasta un nivel inferior a la normativa, es por ello que la minera cuenta con detectores de gases manuales, los cuales son manipulados por el personal de seguridad al momento de inspeccionar la zona, este personal normalmente cuenta con la utilización de los respiradores y filtros antigases con eficiencias del 95% al 99.97% de protección para partículas de aire en el mejor de los casos.

En la presente investigación se desea evitar en su totalidad la interacción y contacto de los gases con los trabajadores de una minera ubicada en la localidad de la Joya- región Arequipa, a través del monitoreo a distancia que ofrece este prototipo robótico, evitando así los riesgos de salud por la expansión y la inhalación de dichos gases.

Es necesario señalar que los monitoreos realizados son sumamente necesarios en los lugares confinados para poder salvaguardar la integridad de los trabajadores y no tener dificultades posteriores, puesto que este tipo de tecnología ayuda sustancialmente a la no exposición a los gases.

Los espacios confinados requieren un constante análisis de la calidad de aire en la zona, para evitar así que los trabajadores tengan el menor contacto posible con estos gases, evitando enfermedades a largo plazo.

Por todo lo expuesto esta investigación pretende diseñar e implementar un prototipo de robot 4WD (prototipo con tracción 4 ruedas todo terreno) que pueda ser monitoreado bajo un

teleoperador y a su vez que cumpla con todas las exigencias de los terrenos agrestes, rocosos, arenosos, etc., pudiendo estar presentes en los socavones, con la finalidad de detectar los gases presentes por medio de los sensores, previniendo así incidentes y accidentes a los trabajadores, sin la necesidad de manipular los prototipos de forma manual, de esta manera poder realizar los trabajos de una manera segura sin el temor de inhalar los gases tóxicos y volátiles del subterráneos.

1.3. Justificación de la investigación

Los espacios confinados en una minera significan un riesgo latente para cualquier trabajador puesto que su ambiente puede ser altamente peligroso y explosivo, muchos de estos espacios tienen abundantes gases peligrosos y volátiles los cuales perjudican la salud del trabajador, por esta razón todo trabajo en mina subterránea debe tener procedimientos y protocolos de seguridad los cuales incluyen, capacitaciones continuas que deben recibir todo el personal dentro de ellas. Todo esto con la intención de prevenir accidentes que puedan resultar mortales. Si dentro de las actividades realizadas un trabajador sufriera de un accidente dentro de los espacios confinados la empresa está en la obligación de generar sus planes de acción y acudir al auxilio del involucrado, esto ocasiona pérdidas a los procesos de extracción como también pérdidas económicas a la empresa. Debido a estas situaciones la presente investigación tiene como justificación los siguientes ámbitos.

1.3.1. Justificación académica:

El presente tema de investigación busca mostrar los avances desarrollados con las nuevas tecnologías del mercado y la industria. Profundizando en los conocimientos teóricos adquiridos sobre los procesos de robótica, control y automatización.

Utilizar los conceptos y conocimientos que permita ofrecer una mirada integral en las tesis y papers ya existentes en la actualidad. Para así poder utilizar nuevas aplicaciones de la siguiente investigación.

1.3.2. Justificación económica:

Como es una investigación aplicable permitirá reducir costos en la producción y en el mantenimiento puesto que se contará con el soporte de la localidad.

La motivación para la fijación de un presupuesto se va a enfocar de la mano con la Impresión 3D, la cual presentan precios mucho más accesibles, los cuales están en mucha mayor demanda. Este prototipo pretende ser más rentable que los existentes en el mercado pudiendo lograr en un futuro mayor competitividad.

1.3.3. Justificación tecnológica:

Permitirá a la compañía minera en La Joya, tener un desarrollo tecnológico local avanzado, que permitirá contar con nuevas herramientas automatizadas para el desarrollo de tareas difíciles en el ámbito industrial.

Haciendo una revisión detallada al análisis de los planos realizados por SolidWorks, y teniendo en cuenta las medidas y referencias de proyectos anteriores, incluyendo el análisis e indagación de cada uno de los componentes necesarios para el prototipo. Concluimos que el prototipo robótico 4WD es factible para su utilización y desarrollo, gracias a los datos en la simulación por software.

1.3.4. Justificación social:

Permitirá, mejorar la seguridad del personal que trabaja en estos espacios confinados dentro de la minera, cumpliendo con las normas de seguridad industrial que rigen en el Perú, para mantener un ambiente laboral con 0 accidentes o incidentes.

Por otra parte, tener en cuenta el estudio y los reconocimientos necesarios para la toma de datos de los gases y la calidad de aire dentro del socavón. Lugares donde el contacto con estos puede ocasionar mucho daño al personal. La finalidad de este proyecto es reducir estos riesgos gracias a la adquisición de datos de manera remota, obteniendo los gráficos para su posterior evaluación.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de robot móvil 4WD Teleoperado para la detección y adquisición de datos de gases para minería subterránea en la Joya Arequipa 2022

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar la estructura mecánica del robot implementando el método de diseño VDI2221
- Diseñar los planos de la placa electrónica utilizando el software proteus y su fabricación impresa, para el control del robot y los sensores de gas.
- Elaborar e Implementar un control de Interfaz de usuario Arduino Excel para la visualización de los parámetros de gases.
- Seleccionar por cuadro de comparación los componentes eléctricos y electrónicos que mejor se adapten al sistema de control del robot

- Visualizar el accionamiento del robot y analizar las gráficas obtenidas por los sensores dentro del socavón.

1.5. Alcances

Los alcances del proyecto son el diseño, construcción y adquisición de gases como Calidad de aire, CO, CO₂, Nh₃, No₂, CH₄.

Se añadirá un interfaz para monitoreo en tiempo real del robot por medio de un dispositivo portátil. Los gases serán recibidos de forma inalámbricamente por medio de la red wifi al ordenador, y estos datos serán utilizados en el programa Excel y expresado en forma de gráficos para una mejor ilustración y análisis

El proyecto será comprobado en una Minera a tajo cerrado en la localidad de la Joya contando con el permiso de la minera para hacer las pruebas.

El proyecto se basará en diseño y construcción del robot, control inalámbrico del robot, interfaz para control de forma manual y obtener la adquisición de datos de los gases.

Para el correcto funcionamiento de los dispositivos, se hará un análisis de calibración con otros componentes similares o de mayor eficiencia y calidad, para posteriormente analizar y comprobar tener parámetros muy similares en ambos equipos. A si mismo tener pruebas en ambientes distintos.

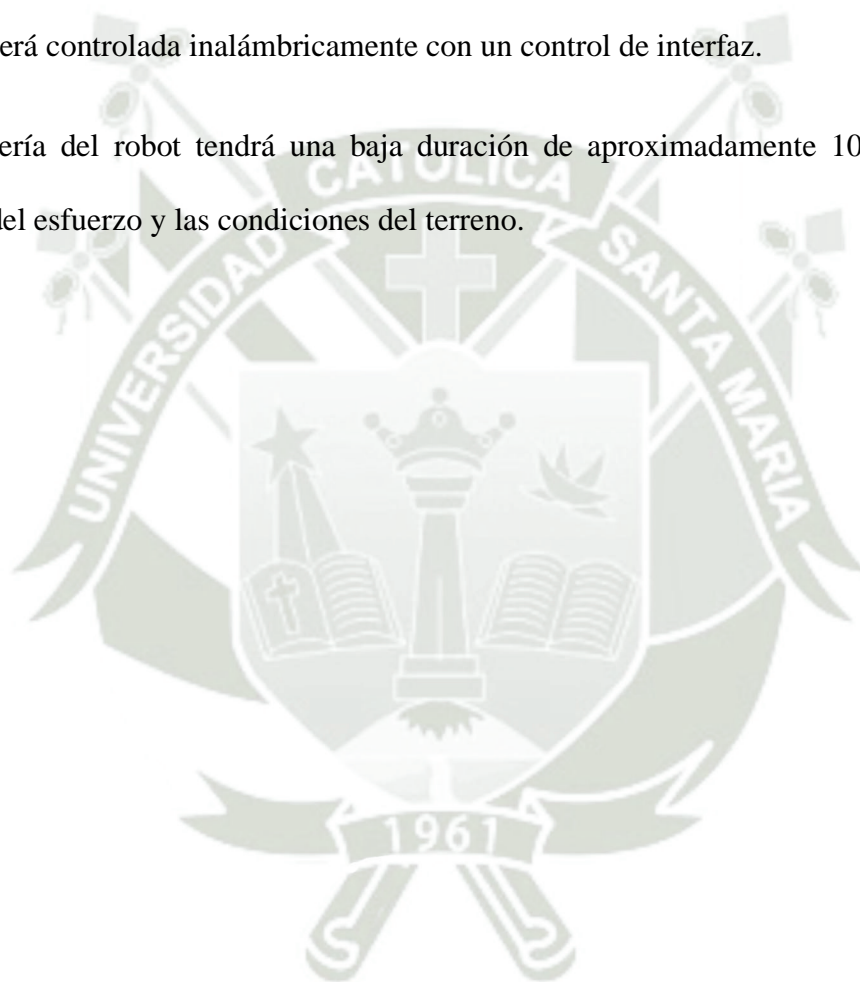
1.6. Limitaciones

El prototipo robótico tendrá dimensiones de 30 x 20 cm y una altura de 20 cm, Sé tendrá un alcance de señal entre el pc y el prototipo de 15 metros aproximadamente, lo cual es suficiente para una buena obtención y análisis de datos, sabiendo las condiciones del lugar y las pérdidas de señal que conlleva.

El material para la elaboración será de ABS teniendo una buena resistencia al impacto, se utilizará impresión 3D. El proyecto se realizará con un presupuesto limitado para los componentes obtenidos tanto para local como importación. Se aplicará la metodología de diseño de máquinas para el prototipo.

El robot podrá desplazarse tanto para superficies planas como obstáculos no mayores a 4 a 5 cm, la cual será controlada inalámbricamente con un control de interfaz.

La batería del robot tendrá una baja duración de aproximadamente 10 a 12 minutos, dependiendo del esfuerzo y las condiciones del terreno.



CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. Estado del Arte

2.1.1. Antecedentes de la Investigación

Durante años la industria minera a tratado de encontrar la mejor forma para diseñar y construir nuevas tecnologías de seguridad, que brinde un mayor cuidado y protección a los trabajadores, el cual es un factor de gran importancia en la minería, para alcanzar así el: “El Cero accidentes en el trabajo”.

Como mencionan Helguero & Medinaceli (2020) de acuerdo con su investigación, corroboraron que uno de los problemas que se presenta en las mineras de socavón o subterráneas es la liberación de gases que resulta peligroso para los trabajadores.

También Helguero & Medinaceli (2020) nos indica que existen sectores en minas subterráneas que no han sido explorados, debido a que se desconoce si existe la presencia de gases nocivos, estos sectores podrían contener minerales de buena ley que podrían ser parte de la explotación.

Uno de los factores que genera la emisión de gases tóxicos es la voladura de roca acompañado de procesos de descomposición de las rocas; los mineros diariamente realizan voladuras para fragmentar la roca y ellos pueden estar propensos a sufrir intoxicaciones que a lo largo de su vida pueden traer complicaciones en su salud.

Ante esta problemática, esta investigación pretende usar los robots para superar esos desafíos, aunque éstos podrían no estar capacitados para reemplazar completamente a los trabajadores, pero sí para la parte más peligrosa y pesada.

El prototipo mecatrónico móvil como indica Helguero & Medinaceli (2020) denominado ROBOT MINERO MIN – SIS 1.0 SDG-STR., es un robot que tiene la forma de un auto y es controlado por mando a bluetooth y con la capacidad de enviar imágenes por video, con el objetivo de realizar la medición precisa de la concentración de gases tóxicos, utilizando sensores que permiten enviar la información en tiempo real, almacenando en una base de datos, para su vista en una aplicación web. Nuestra investigación pretende contribuir a ampliar más la señal que él elaboro y una monitorización de gases en tiempo real

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

Como dice Muñoz Martines (2019) en su tesis titulada “Diseño e implementación de un robot móvil basado en tecnologías de Teleoperación Open-Source para la toma de acciones de seguridad preventivas e inmediatas en casos de accidentes en minas subterráneas”, comprende el desarrollo de una solución de Ingeniería Robótica integrada mediante tecnologías de teleoperación Open-Source. El cual fue concebido para realizar exploraciones de detección de agentes contaminantes físicos y químicos dentro de las minas subterráneas. El diseño y la implementación del sistema Robótico, está conformado por un diseño mecánico Robusto, resistente a colisiones y a pequeñas explosiones. Asimismo, posee un sistema de teleoperación agradable e intuitivo para el usuario, un sistema de almacenamiento de información ambiental dentro de la memoria interna del Robot y la conexión de sensores ambientales a una red de bajo consumo. El sistema de Información diseñado para la centralización de los datos recolectados por el sistema Robótico tiene

la posibilidad de monitorear en tiempo real, almacenar la información en una base de datos de forma segura y eficiente, y analizar esta información en reportes de monitoreo ambiental.

Logro demostrar la facilidad de obtención de información ambiental para la seguridad ocupacional de la mina en distintos terrenos, se pudo navegar teleméricamente al sistema Robótico para hacer un recorrido completo dentro de la mina modelo del Parque de las leyendas ubicado en el distrito de San Miguel de la ciudad de Lima. De lo cual nos basamos para la elaboración de esta investigación con la mejora que se obtendrá la información de los sensores manera constante con un solo pulsador.

Como nos señala Fernando Alonso (2019) “Sistema automático de monitoreo de mercurio en tiempo real en aguas aledañas a explotaciones mineras y petroleras usando plataforma IoT”. Lima, Perú: Tesis PUCP, Con lo cual se concluye en la importancia de representar la información ambiental en gráficas de monitoreo en tiempo real, para medir los niveles de contaminación de mercurio en aguas aledañas cercanas a explotaciones mineras y tomar las acciones necesarias para las operaciones de restauración del medio acuático y en nuestro caso en minería subterránea.

Como nos indica Tsukayama Lozano (2019) en su Tesis titulada 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 se compuso principalmente por un diseño mecánico, eléctrico, electrónico e informático. Se diseñó y se simulo 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.

2.1.3. Antecedentes a nivel internacional

Como dice Sachin M. Ledange (2016) “Robot based Wireless Monitoring and safety for Underground Coal Mines using Zigbee” Maharashtra, India. El análisis que determino los peligro en la minería concluye que la mejor forma para reducir los riesgos es la utilización de redes Zigbee mesh, con las cuales brindan la mejor opción para la transmisión de la información ambiental inalámbrica censada el cual es rentable dado su bajo consumo y posibilidad de escalar a nivel de sensores conectados para él envío de datos. Asimismo, permite evaluar las ventajas proporcionadas mediante el uso de tecnologías Open-Hardware para la reducción de costos y la facilidad de implementación del sistema electrónico colocada en un robot para mejor seguridad en la mina.

Como nos menciona Sumit Kumar (2015) “Real Time Monitoring System for Mine Safety using Wireless Sensor Network (Multi-Gas Detector)” Rourkela, India. En su tesis presento que utilizando la red sensorial Zigbee conectado con diversos sensores ambientales, se brindara un monitoreo en tiempo real con movimientos mucho más rápidos, permitiendo así la obtención de una información mucho más valiosa y sofisticada sobre la seguridad ambiental a los trabajadores a través de reportes de monitoreo.

Como nos señalan Cabrera Flor & Delgado Salamea (2014) “Diseño y Construcción de un Robot para mapeo y Exploración de minas Subterráneas” Cuenca – Ecuador. Presenta el uso de un

enlace Wifi para obtención de datos como son la humedad, dimensión y video en tiempo real del ambiente en mina subterránea. Es una buena implementación al poder ser conectado a un robot móvil integrado con sensores que pueden brindar una información clara del estado actual ambiental de la mina.

Usamos la idea como base para una opción bilateral pero debido a que la señal wifi no es estable debido a pérdidas de señal por obstáculos y si se desea mejorar la señal wifi sería con repetidores nos encontraríamos con una solución más costosa.

Como menciona Palma Vidal (2019) “Prototipo Robótico de Inspección y Adquisición de datos en la pequeña minería” Santiago de Chile. Concluye que en la minería para identificar si una faena es segura o no, y bajar la incertidumbre en una perforación minera, se introducirá un prototipo robótico que contiene un controlador MyRIO accionado con el uso del programa Labview, para la obtención de datos de rugosidad y humedad para el análisis de Barton. El cual brindara una mejora en la seguridad de la pequeña minería.

2.1.4. Robótica

La robótica según nos indica Verano (2005) es una ciencia o rama de la tecnología, que estudia el diseño y construcción de máquinas las cuales son capaces de desempeñar la realización de tareas en ves del ser humano o que se requiera del uso de su inteligencia. Las ciencias y tecnologías de las cuales se deriva podrían ser: el álgebra, los autómatas programables, las máquinas de estados, la mecánica o la informática.

Como nos señala Barrientos Sotelo, García Sánchez, & Silva Ortigoza (2007) Son sistemas electromecánicos reprogramable, que permiten la realización de diferentes tareas de forma repetitivas las cuales requieren de un alto grado de precisión. Existiendo toda una gama de formas

y aplicaciones para el uso de los robots, dependiendo de la tarea que deban realizar, de esta forma se clasifican de varias formas como su nivel de inteligencia, de control o del lenguaje de programación.

2.1.4.1. Robots Móviles

La robótica móvil según Bermúdez (2002) es considerada actualmente un área de la tecnología avanzada manejadora elaborada para problemas de alta complejidad. La elaboración de sus productos se constituye en aplicaciones para las áreas de control, programación, inteligencia artificial, percepción e instrumentación, Sirviendo como base para el avance en diversos campos de la industria, aportando soluciones tecnológicas innovadoras orientadas al desarrollo de mejores robots y a la ampliación del abanico de aplicaciones disponibles. Así, este campo de la investigación está desarrollándose en todo momento, quedando aún mucho que recorrer.

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 (cuando el número de grados de libertad controlables es igual a los grados totales de libertad). 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.

2.1.4.2. Locomoción de los robots Móviles

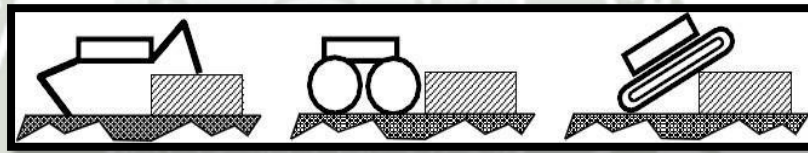
La robótica móvil según Cotera Berdugo (2017) como su nombre lo indica, abarca todo sistema robótico destinado a realizar desplazamientos en su entorno, comprendiendo aquellos capaces de llegar a su destino por tierra, agua, aire o cualquier terreno para el cual el robot fue diseñado. Existen diversas formas para lograr movimientos, algunos usando modelos inspirados en

la naturaleza como los robots humanoides que simulan la marcha humana y otros a partir de mecanismos comúnmente usados en vehículos como la rueda y orugas. Estos robots desempeñan trabajos de exploración, vigilancia, labores de rescate entre otros, por lo que la gran mayoría están equipados con sensores que le permiten conocer su ubicación y el tipo de objetos que lo rodean,

Como también nos menciona Cotera Berdugo (2017) este trabajo se centra en un robot terrestre, en la **Figura 1** nos muestra como este tipo de robots son diseñados para desplazarse por uno o varios tipos de superficie determinadas. Esta categoría comprende los robots capaces de caminar, correr, escalar, deslizarse o rodar por lo que existen mecanismos para todo tipo de terreno entre los más comunes las patas, orugas y ruedas.

Figura 1.

Desplazamiento de un robot móvil



Nota: Robótica móvil. Cardenas Verdugo (2011)

2.1.4.3. Locomoción de Ruedas

La tracción a ruedas es considerada la más común y popular, se componen de mínimamente 2 ruedas en un eje común, cada rueda se controla independientemente, puede realizar movimientos en línea recta, en arco y sobre su propio eje de contacto de rodamiento en los robots móviles para obtener la movilidad del mecanismo. En la **Figura 2** 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 adicionales para balanceo o estabilidad, puede presentar problemas de estabilidad y su cinemática es sencilla (La cinemática

de un robot se refiere a la manera en que se mueve), para lograr el movimiento en línea recta requiere que las dos ruedas de tracción giren a la misma velocidad.

Figura2.

Sistema de Locomoción por ruedas

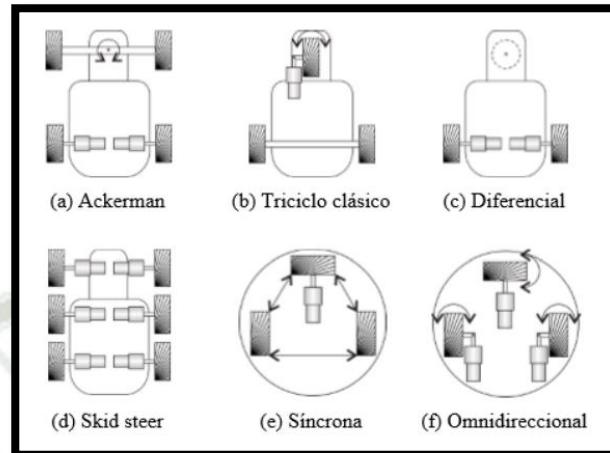


Nota: El sistema de locomoción con ruedas. El robot Anfibio Industry (2023)

Los principales inconvenientes implicados en la locomoción por ruedas se deben a la superficie por donde tiene que moverse. Si los terrenos en donde se encuentra son blandos o con ciertas irregularidades, el movimiento será volverá un poco más dificultoso con probabilidades de que no pueda avanzar y quedar atorado por causa de algún obstáculo en su camino. En la **Figura 3** muestra los diferentes tipos de configuraciones que existen con las ruedas para cada tipo de terreno que pueda enfrentarse. Como los sistemas de locomoción por tracción diferencial.

Figura3.

Sistemas de tracción para desplazamiento con ruedas



Nota: Configuración Robots móviles. LICONA ALVITER (2019)

2.1.4.4. Tipos de Sistemas de Locomoción por tracción Omnidireccional

En la robótica móvil, los robots omnidireccionales presentan una de las estructuras más eficientes para realizar movimientos frontales, laterales y rotacionales sobre una superficie plana, una de sus principales características es el tipo de programación para que el robot gire utilizando el movimiento de aceleración o reducción de las ruedas según sea el tipo de movimiento efectuado

En la **Figura 4** nos muestra como un robot omnidireccional se define como un vehículo que cuenta con movilidad en cualquier dirección desde un punto arbitrario del sistema de coordenadas sin realizar rotaciones previas al desplazamiento, llegando a su destino con la orientación deseada (sistema holónimos). Esta condición se debe a que la disposición de las ruedas brinda al robot tres grados de libertad en el plano xy, movimiento en el eje x, y y orientación / o también llamado guñar (yaw). (Pérez, 2015)

Figura4.

Robots omnidireccionales



Nota: Estructura de Robot Omnidireccional. Robotino de Zambrano Perez (2015)

2.1.5. Vehículos Terrestres:

Los vehículos terrestres, son generalmente diseñados con mucha sofisticación donde el vehículo se tendrá que adaptarse para terrenos hostiles, muy accidentados o peligrosos. En la **Figura 5** nos muestra un Robot tanto en el aire libre, como cuevas o socavones con espacios reducidos. Usados para el manejo y transporte tanto de materiales o residuos químicos, como desactivación de bombas, verificación y muestreo del terreno ya sea para rescate, inspección o análisis del mismo.

Figura5.

Robot Minero para detección de gases



Nota: Robot Minero. Oliden Martínez (2015)

2.1.6. Teleoperación

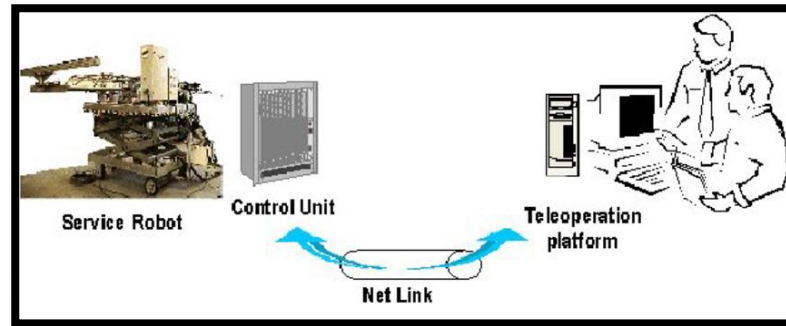
Teleoperación es el término técnico para el funcionamiento de una máquina, sistema o robot a distancia. Las distancias involucradas pueden variar entre millones de kilómetros como es en caso de aplicaciones espaciales y militares hasta centímetros como en microcirugía o en micro aplicaciones. Las teleoperaciones comúnmente consisten en tecnologías para robots remotos controlados por un operador humano.

La radiofrecuencia, 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. 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. (Pérez Porto & Merino, 2022)

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. Las radios AM, en este sentido, pueden llegar con sus señales a mayores distancias en comparación con las radios FM. (Pérez Porto & Merino, 2022)

Figura6.

Teleoperacion de Robots con Operador



Nota: Control de Robots en Tiempo Real. J. Ortiz , Pastor Franco, Alvarez Torres, & Sanchez (2014)

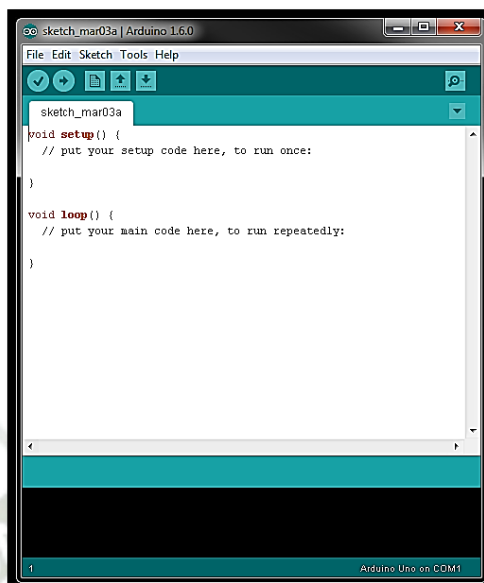
2.2. Teoría Básica

2.2.1. Arduino IDE

El IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) **Figura 7** también llamado en inglés (ntegrated Development Environment) de Arduino es una aplicación multiplataforma (Windows, Linux, mac) del cual su escritura está en el formato Java, pero puede utilizarse con varios lenguajes más como los lenguajes C y C++ utilizando reglas especiales de estructuración para codigos. Su uso es la programación de placas tanto compatibles con Arduino, como otros dispositivos que no sean del mismo Arduino ayudados con un tercer conector o con placas de desarrollo de diferentes proveedores (Bush, 2022) El código fuente para el IDE se publica bajo la Licencia Publica General de GNU versión 2

Figura7.

Interfaz Arduino IDE



Nota: El IDE de Arduino es multiplataforma. (Arduino, 2023)

2.2.2. Atmega 2560

Es un microcontrolador de alto rendimiento y bajo consumo, Microchip de 8 bits AVR® basado en RISC combina memoria flash ISP de 256 KB, SRAM de 8 KB, EEPROM de 4 KB, 86 líneas de E / S de propósito general, 32 registros de trabajo de propósito general, en tiempo real contador, seis temporizadores / contadores flexibles con modos de comparación, PWM, cuatro USART, interfaz en serie de dos cables orientada a bytes, convertidor A / D de 16 canales y 10 bits y una interfaz JTAG para depuración en chip. El dispositivo alcanza un rendimiento de 16 MIPS a 16 MHz y opera entre 4.5- voltios. (Vistrónica, 2022)

Las características se mostrarán en la **tabla 1**

Tabla 1.

Características de microcontrolador Atmega 2560

| Nombre | Valor |
|--------|-------|
|--------|-------|

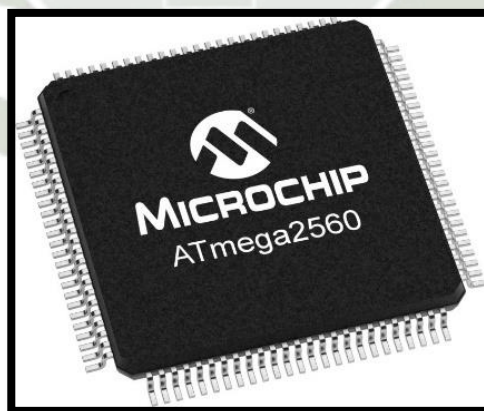
| | |
|---|-------------------------------------|
| Tipo de memoria de programa | Flash |
| Tamaño de la memoria del programa (KB) | 256 |
| Velocidad de CPU (MIPS / DMIPS) | 16 |
| SRAM (B) | 8.192 |
| Datos EEPROM / HEF (bytes) | 4096 |
| Periféricos de comunicación digital | 4-UART, 5-SPI, 1-I2C |
| Capturar / Comparar / Periféricos PWM | Captura de 4 entradas, 4 CCP, 16PWM |
| Temporizadores | 2 x 8 bits, 4 x 16 bits |
| Rango de temperatura, ° C) | -40 hasta 85 |
| Seis / Doce canales PWM con resolución Programable | 2 a 16 bits |
| Numero de Comparadores | 1 |
| Rango de voltaje de funcionamiento (V) | 1.8 hasta 5.5 |
| Bajo Consumo | No |
| Número de pines | 100 |
| Montaje | SMD |

Nota: Datos Atmega 2560. Obtenidos de: (Vistrónica, 2022)

La **Tabla 1** nos muestra las características principales del Atmega 2560, las cuales son de mucha utilidad para saber si cumple con los requerimientos necesario para el proyecto, así como los detalles de su funcionamiento

Figura8.

Microcontrolador Atmega 2560



Nota: Microchip Atmega 2560. (Inc., 2023)

2.2.3. SolidWorks

SolidWorks **Figura 9** es un software tipo CAD (Dibujo Asistido por Computadora), de diseño mecánico en entorno gráfico, este nos apoya para tener una idea de modelaje de la piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software ofrece un abanico de soluciones de fácil uso y poderosas herramientas para cubrir procesos (crear, validar, comunicar y gestionar) de desarrollo de productos, coste de fabricación y mejores tiempos de producción, (eLearning, 2022)

Figura9.
SolidWorks



Nota: Logo de SolidWorks. (Chayot, 2022)

2.2.4. Impresión 3D

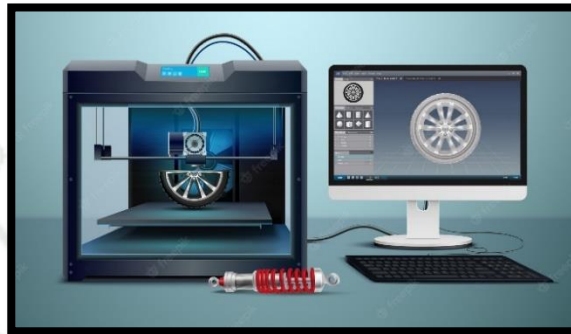
La impresión 3D o manufactura por adición, es el proceso o conjunto de procesos los cuales producen diferentes objetos físicos, a través de la adición de material en capas con una base en modelos digitales. Para el proceso de impresión 3D es necesario que el software y hardware trabajen a la par con el material. (SOLUCIONES, 2022)

La impresión 3D crea formas muy eficientes geométricamente y casi perfectas en un breve periodo de tiempo, gracias a ello se está extendiendo a gran velocidad en las industrias gracias a sus múltiples usos. La impresión 3D es una tecnología increíble que se extiende a una gran

variedad de industrias y usos. El impacto que tiene sobre la vida de las personas, sistemas de producción y los negocios. (SOLUCIONES, 2022)

Figura10.

Impresora 3D



Nota: Proceso para la impresión 3D. (FREEPIK, 2023)

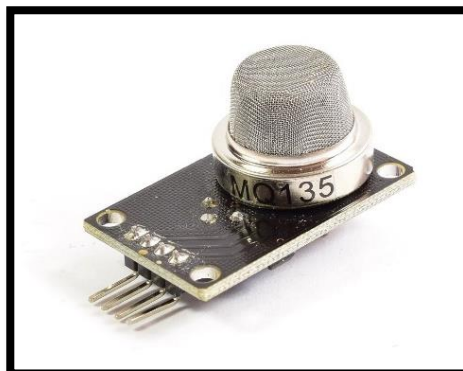
2.2.5. Sensor de CO₂ o calidad de aire MQ-135

El sensor electroquímico tiene la capacidad de variar su resistencia en función de la ppm (partes por millón) de partículas de gas en el ambiente. Dispone de un calefactor interno que tiene la finalidad de mantener estable la temperatura y la humedad dentro del encapsulado, ya que estas afectan a la sensibilidad del sensor. (Iberotecno, 2022)

A diferencia de los sensores NDIR, de muchos más costos, este sensor puede sufrir variaciones en sus mediciones según la humedad y la temperatura en el ambiente. Por este motivo, se recomienda usar el sensor en unas condiciones ambientales óptimas y tenerlo encendido unos minutos antes de usarlo. Sin embargo, el sensor viene equipado con un calefactor interno dentro de su módulo. De esta forma, se logran mediciones muy precisas, lineales y estables en comparación en el uso del sensor sin el calefactor De esta forma, conseguiremos que el calefactor interno haga su trabajo, (Iberotecno, 2022) más detalle en el **Anexo 6**.

Figura11.

Sensor MQ-135

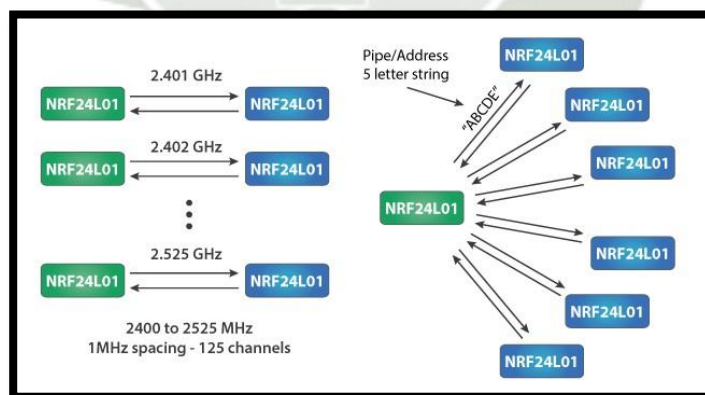


Nota: Sensor MQ-135 Gas calidad de Aire. (NAYLAMP, 2023)

El módulo puede usar 125 canales diferentes, lo que da la posibilidad de tener unared de 125 módems que funcionen con independencia uno de otro en un solo lugar. Cada canal puede tener hasta 6 direcciones, es decir, cada unidad puede comunicarse con hasta otras 6 unidades al mismo tiempo. (Robots Didácticos, 2019)

Figura12.

Canales de Onda



Nota: Modulo de Canales de onda hasta 125 Canales diferentes. (Robots Didácticos, 2019)

2.2.6. Sensor de Gas MQ-2

El MQ-2 **Figura 13** es un Sensor de Gas es ideal para aplicaciones que requieran medir concentraciones de gas natural en el aire ya que puede detectar concentraciones desde 300 hasta 10000 ppm que tiene una sensibilidad especial para la medición de niveles en la concentración de gas en el aire, es sumamente utilizado para medir LPG, propano, hidrógeno, metano y otros combustibles. Gracias a este sensor podemos saber si el aire está limpio y/o libre de gases, gracias a la alta conductividad que presenta el dispositivo en estas condiciones y a medida que detecta concentración de gases, disminuye dicha conductividad. Por lo tanto, la conductividad está relacionada con la concentración de gases en el ambiente, para la lectura de la concentración de dichos gases solo se debe utilizar un microcontrolador como lector o manipulador de la señal, en este caso utilizaremos una tarjeta Arduino. (HETPRO, 2009)

El dispositivo provee de una salida analógica que sale del divisor de voltaje y una resistencia de carga, pudiendo detectar también fugas de Gas en casas o industrias.

Por último, este dispositivo incluye una salida digital que se calibra con un potenciómetro en el módulo en conjunto con un Led indicador. La resistencia del sensor cambia de acuerdo con la concentración del gas en el aire. (HETPRO, 2009)

Figura13.

Sensor MQ-2



Nota: Sensor MQ-2. (NAYLAMP, NAYLAMP MECATRONICS, 2022)

2.2.7. Sensor de Gás NH₃ MQ-4

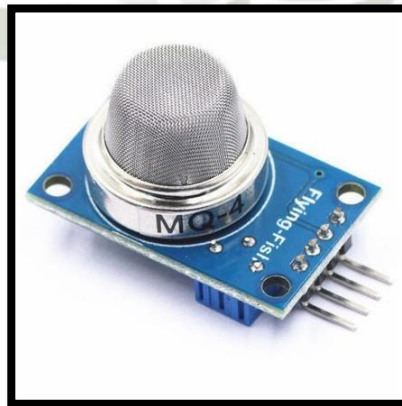
El sensor MQ4 **Figura 14** es un módulo de sensor de gas especialmente diseñado para detectar y detectar gases como Metano (CH₄), propano (C₃H₈) natural y GNL. El módulo de sensor de gas MQ4 viene con pines digitales que se pueden conectar a un microcontrolador como placas Arduino y son útiles cuando solo está tratando de detectar un gas en particular.

Este sensor presenta con un amplio alcance de detección, respuesta rápida (menos de 1 s) con una alta sensibilidad (3%), tiene un voltaje del circuito: DC5V. Estable y de larga duración con un voltaje de salida analógica: 0 V a 5 V y un voltaje de salida digital: 0 V o 5 V (TTL Logic)

Puede usarse como sensor digital o analógico. La sensibilidad de la salida digital se puede ajustar mediante un potenciómetro integrado La señal válida de salida TTL es baja. (Cuando la salida es baja, la luz de señal está encendida, se puede conectar directamente a la MCU o al módulo de relé). Este dispositivo es compatible con Arduino El sensor MQ-4 tiene una conductividad baja cuando el aire está limpio. Cuando el sensor detecta gas metano la conductividad de los sensores es más alta junto con el aumento de la concentración de gas. (IC, 2023)

Figura14.

Sensor MQ-4



Nota: Sensor MQ-4. (MECATRONICA, 2023)

2.2.8. Sensor n2s Arduino MIC-6814

El n2a MICS-6814 **Figura 15** es un sensor para la detección de la calidad de aire como son el CO, COV, NH₃, nitrógeno, oxígeno, Gas.

Este sensor de detección puede ser utilizado con Arduino. La estructura del chip del sensor de gas de silicón consiste en un diafragma micromecánica de precisión y una resistencia de calentamiento integrada con la capa de detección en la parte superior. Tres elementos de detección de gas separados están integrados. Puede detectar gases de escape de automóviles, residuos industriales y agrícolas en entornos hostiles.

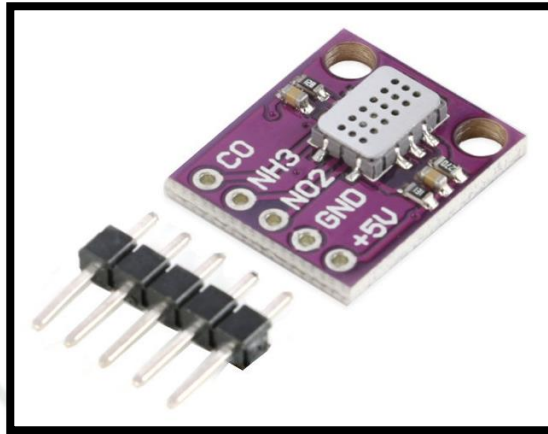
Como características presenta el voltaje de suministro del módulo: DC4.9V ~ 5,1 V
Temperatura y humedad del ambiente de trabajo: -30 ~ 85 grados 5 ~ 95% RH Fuente
Tamaño del módulo: 16,9mm * 14,1mm * 3,2mm con dos agujeros de montaje m3. (Electronics, 2021)

Presenta una distancia de los gases:

- Monóxido de carbono CO 1 - 1000ppm
- Dióxido de nitrógeno NO₂ 0,05-10ppm
- Etanol C₂H₅OH 10 - 500ppm
- Hidrógeno H₂ 1 - 1000ppm Amoníaco
- NH₃ 1 - 500ppm
- El metano CH₄ >1000ppm
- Propano C₃H₈ >1000ppm
- Iso-butano C₄H₁₀ >1000ppm

Figura15.

Sensor n2s Arduino MIC-6814



Nota: Sensor MICS-6814. (Cee, 2014)

2.2.9. Elaboración de la Placa Elaboración Propia

Se elaboro la placa para una mejor conexión del cableado del vehículo tal como se requería podemos verlo en la **Figura 16**, la elaboración de los circuitos fue en proteus, una vez obtenida la placa se soldó los componentes necesarios para efectuar el proyecto, entre ellos la placa del atmega, el convertidor de voltaje y los pines de alimentación y señal.

Figura16.

Placa del prototipo



Nota: Diseño de Placa de Elaboración propia

2.2.10. Cámara Seisa NA9 con Wifi

El módulo **Figura 17** nos provee de una cámara Web con conexión wifi para envío de datos de imagen y video, este compuesto por un receptor de onda el cual recepción las imágenes captadas por la cámara y los datos entregados a un equipo móvil como celular o Tablet, las características del equipo presentan el voltaje de suministro 5V o un rango de (2.5-5.5V) con una corriente de 220mA, duración del batería aproximado de 2 horas. Cámara de 1080 x1920 HD con vista panorámica de 150 grados (Seisa, 2023)

Figura17.

Camara Seisa NA9



Nota: Camara Seisa NA9 Wifi. (Seisa, 2023)

2.2.11. Dual h-bridge DC L298N Módulo de controlador de Motor

El controlador Dual h-bridge DC L298N **Figura 18** se centra en la corriente, la eficiencia, la potencia del motor y la duración de la batería de forma efectiva.

Presenta un controlador de puente completo doble de alto voltaje y alta corriente diseñado para aceptar niveles lógicos de TTL estándares e impulsar cargas inductivas, como relés, solenoides, motores de paso y de corriente continua, (Electronic, 2018) parte impulsada de la zona

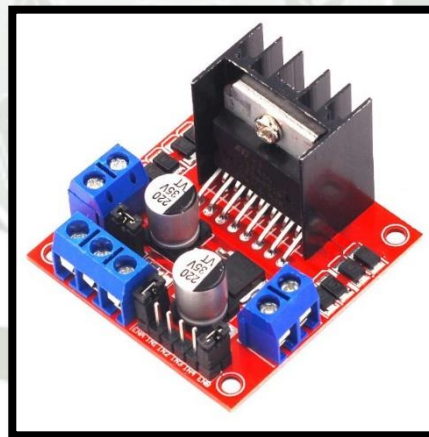
de suministro de terminales Vs: 5 ~ 35 V; parte impulsada de la corriente máxima Io: 2A; Rango de voltaje de entrada de señal de control: Bajo -0,3 V, Para que el tubo tenga suficiente voltaje de accionamiento, se puede abrir rápidamente, mejorar la curvatura de aceleración del motor, pero también rápidamente para el freno del motor. Esto permite que el carro pueda arrancar con rapidez. (IIVVERR, 2022)

El controlador puede funcionar al 0% -99% del ciclo de trabajo de la modulación PWM, el voltaje de conducción del motor se puede obtener suficientemente.

Este controlador puede ser utilizados por sistemas de programas y problemas complejos y problemas de accionamiento complementarios.

Figura18.

Modelo Dual H-bridge DC



Nota: Imagen del controlador Dual h-bridge DC L298N (IIVVERR, 2022)

2.2.12. Nrf24l01

En la Figura 19 describimos como los módulos del NRF24L01 operan en la banda de 2.4GHz, son muy usados por su funcionalidad, bajo consumo y bajo costo. El modelo es más completo, aparte que el NRF24L01 posee un circuito amplificador de potencia (PA), un circuito

amplificador de bajo ruido (LNA) además de una antena SMA que en conjunto le permiten lograr un rango de hasta 1000m

El módulo posee 8 pines (headers macho) a través de los que se alimenta (3.3V) y se comunica mediante SPI. Debemos tomar en cuenta que la comunicación es de 3.3V(tolerante a 5V) por lo que para trabajar con microcontroladores de 5V(Arduino Uno/Mega/Nano/Micro, PICs) es recomendable utilizar un conversor lógico 5V-3.3V

Funcionamiento en la banda ISM de 2,4 GHz, por lo que no necesita licencia y es libre en todo el mundo, 3 Velocidades de Datos seleccionables: 250Kbps, 1Mbps y 2Mbps.

Acelerador por hardware del protocolo SPI

Consumo energético ultra bajo, capaz de durar años utilizando una batería (NAYLAMP, 2023)

Figura19.

Modelo Nrf24l01



Nota: Imagen del NRF24L01 con antena (LABOTEC, 2023)

CAPITULO III

3. DISEÑO Y CONTRUCCION DEL PROTOTIPO

3.1. Metodología de Diseño:

Para definir según Olachea (2013) es un proceso para llegar a un diseño completamente perfecto, en donde el cliente y el diseñador estén satisfechos es difícil o a veces hasta imposible llegar, sin embargo existen ciertos puntos en los que debemos de poner atención como diseñadores para que la interacción con el cliente sea más efectiva, eficaz y satisfactoria.

3.1.1. Norma VDI 2221

El modelo **VDI 2221** como menciona SANCHEZ RIOS, y otros (2018) está centrando en las actividades para la búsqueda de soluciones, con el fin de obtener información precisa para el desarrollo de un diseño eficaz, el cual permita obtener un prototipo que satisfaga en su totalidad las necesidades requeridas.

Con más detalles en los pasos seguidos los encontraremos en el **Anexo 3**

3.2. Lista de Deseos y Exigencias

Es una breve descripción, generalmente una serie de exigencias a cumplir o situaciones de una problemática, la lista de exigencias hace un camino entre la comunicación de un diseñador y el cliente, donde es detallado los alcances que tendrá el proyecto. La lista es dividida en exigencias, requerimientos a cumplir y deseos. Los requerimientos que son la parte dispensables en la tabla. En la **tabla 2** se muestra la lista de deseos y exigencias para nuestro diseño del prototipo robot 4WD.



Tabla 2.

Lista de Deseos y exigencias.

| PROYECTO | | DISEÑO DE ROBOT 4WD CONTROLADO A DISTANCIA |
|-------------------|--|---|
| Deseo o Exigencia | | EXIGENCIA |
| | | 1. Función principal: |
| E | | Desplazamiento: |
| E | | El robot debe poder ir hacia adelante, retroceder, girar (de esta forma puede ir esquivando los costados) |
| E | | |
| | | 2. Geometría o dimension: |
| D | | El robot debe medir hasta 30 cm de largo, 20 cm de ancho y 20 cm de alto |
| | | 4.Velocidad: |
| D | | El robot debe avanzar hasta 1.5 m/s |
| | | 5.Energía: |
| D | | La fuente de alimentación para el funcionamiento del robot debe durar mínimo hasta 30min. |
| | | 6. Señales: |
| E | | El robot debe poder recibir señales a distancia en un radio más de 5 metros |
| | | 7.Terreno de transporte: |
| E | | El robot debe poder desplazarse en superficies con tierra y piedras pequeñas |
| | | 8.Montaje: |
| E | | El montaje de los motores con las llantas se hará con acopladores y deberán aguantar el trabajo en el terreno. |
| | | 9.Fabricación: |
| D | | Debe poder fabricarse de manera fácil. Y el material del que esté hecho el robot debe poder soportar temperaturas de entre 0 hasta 40 grados. |
| | | 10.Mantenimiento: |
| D | | Correctivo, para que cuando las piezas se dañen o presenten algún desperfecto sólo puedan ser reemplazadas por otras nuevas. |
| | | 11. Entrega de trabajo: |
| E | | El robot no será construido sólo diseñado, para lo cual se entregará planos, análisis y simulación |

Nota: Listados basado en la norma VDI 2221

En la **Tabla 2** se describe la lista de exigencias, reconociendo exigencia y deseos basándonos en la norma VDI 2221 desarrollando cada uno de los puntos.

3.3. Blackbox General

En la **Figura 20** se muestra el Blackbox general del robot 4WD

Figura20.

Blackbox general



Nota: Blackbox del Prototipo

3.4. Estructura De Funciones

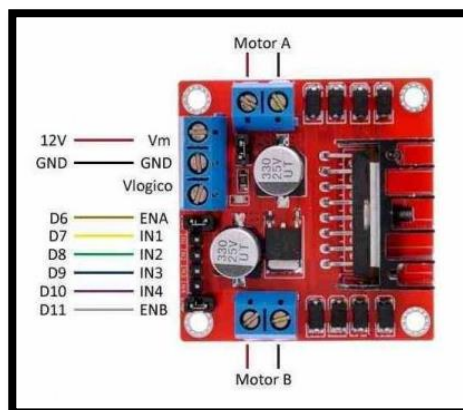
3.4.1. Funciones

3.4.1.1. Arranque:

Es un pulso eléctrico el cual permite a la energía ir desde el punto de alimentación de la fuente, a la energización de nuestro robot. Para luego esté haga una secuencia de pasos designados por nosotros. Para entender la locomoción debemos el movimiento de las llantas, así como su polaridad de los motores para así poder entender de una mejor manera la descripción del movimiento **Figura 21** que puede realizar y desplazarse por el terreno.

Figura21.

Control del controlador L298n a los motores



Nota: Descripción de las partes de Controlador. (SAS, s.f.)

Tabla 3.

Lista de funciones del L298N

| EN A, B | IN 1, 3 | IN 2, 4 | MOTOR A, B |
|---------|---------|---------|------------|
| 0 | - | - | - |
| 1 | 0 | 1 | ↻ |
| 1 | 1 | 0 | ↻ |

Nota: Elaboración: Propia

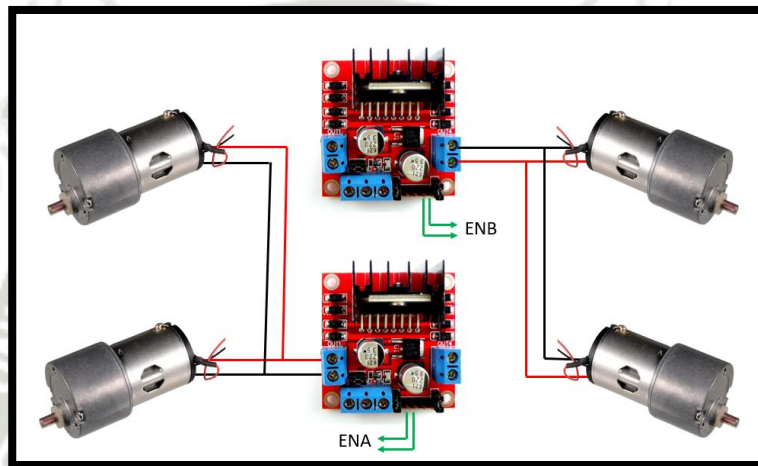
Ambos motores están sincronizados para que con un pulso giren a la par los 4. Según la **tabla 4** podemos guiarnos para hacer las rotaciones de cada una de las salidas del l298n a los motores y controlarlos. Se plantea una inversión de polaridad cambiando los IN para giros de derecha o izquierda del robot.

3.4.1.2. Parte Mecánica:

Los motores se encuentran conectados en paralelo por una salida en ambos l298n esto para distribuir de mejor manera la carga eléctrica en solo 2 motores, pudiendo así evitar las pérdidas de potencia por la disminución del amperaje mientras más salidas haya, esta conexión se muestra en la **Figura 22**

Figura22.

Bosquejo de Conexión de los motores con los l298n en paralelo

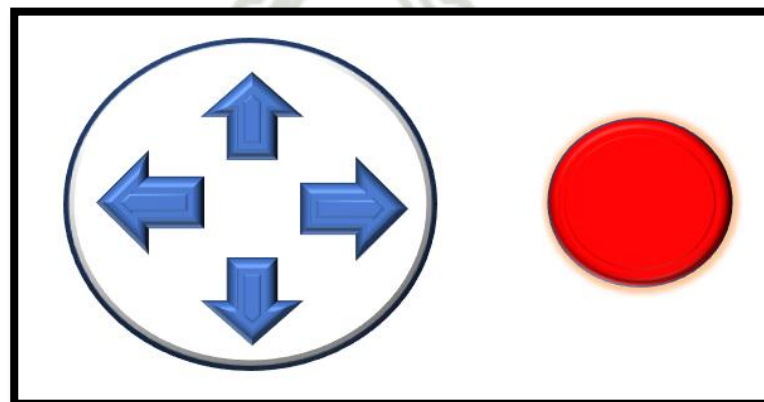


Nota: Conexión de los motores con el controlador

3.4.1.3. Parte de la programación para desplazamiento y envío de señales de los Sensores

Figura23.

Secuencia de envío y Recepción de Señales



Nota: Diseño de la botonera control para el robot

- a. Establecer Comunicación: Se realizó una comunicación Bidireccional en la cual la mayor parte del tiempo el mando sea quien controle al robot, con la forma maestro esclavo y que sea quien envíe las señales, el robot será el receptor.
- b. Redirección: Al momento de presionar el botón rojo de la **Figura 23**, habrá un cambio de dirección en el cual se invertirán los papeles y el robot empezará a ser el maestro enviando señales de las tomas de gases de los sensores al mando que será ahora el esclavo o receptor y este al estar conectado almacenará los datos en el Arduino y este mostrará esa señal representando en un monitor pc.

3.5. Portadores De Funciones

Tabla 4.

Principios Tecnológicos

| FUNCION PARCIAL | PRINCIPIOS TECNOLOGICOS | | | |
|----------------------------|--|--|---|----------------------|
| | OPCION 1 | OPCION 2 | OPCION 3 | OPCION 4 |
| Encendido Del Controlador | Conexión Directa: El pulso (1) va al controlador todo el tiempo desde la fuente de alimentación | Conexión Indirecta: El pulso (1) llega a un dispositivo que enciende la fuente de alimentación del controlador. | Conexión de Energía directa a controlador | |
| Envío y Recepción de señal | Wifi | RF | Bluetooth | Comunicación Serial |
| Procesador de Señal | Arduino Mega | Rasperry PI | Arduino Uno | Circuitos Integrados |
| Energizar Robot | Batería química reusable | Batería química desechable | Alimentación Monofásica | Paneles Solares |
| Control de Señal | HMI | Control de mando inalámbrico | Control de mando alámbrico | Infrarrojo |

Nota: Cuadro de opciones para el funcionamiento del robot

Caso 1: 

- Encendido del controlador: 2
- Mandar y recibir señal: 3
- Procesar la señal: 2
- Energizar robot: 2
- Controlar señal: 1

El caso 1 de la **tabla 4**, el encendido del controlador será utilizado de forma indirecta, es decir, llegará un pulso (1) al controlador el cual ya se encontrará alimentado por una fuente externa todo el tiempo. Entonces el cerebro del robot se encontrará encendido para recibir señales mandadas por un dispositivo Bluetooth (Controlador de señal) a otro dispositivo (Procesador de señales); las señales que recibirá de ahora en adelante son de mando para poder mover las ruedas las cuales se realizará de forma eléctrica, la fuente de alimentación que se encarga de energizar este movimiento será una batería química desechable. Y por último para el comando de señales se utilizará un HMI (una interfaz hombre máquina). Por tanto, desde la interfaz se podrá elegir lo que queremos que haga el robot como avanzar retroceder o girar.

Caso 2: 

- Encendido del controlador: 2
- Mandar y recibir señal: 1
- Procesar la señal: 2
- Energizar robot: 2
- Controlar señal: 2

El caso 2 de la **tabla 4**, la forma de encendido del controlador será de forma indirecta, es decir, llegará un pulso (1) al controlador el cual tendrá que recibir una señal para encender la fuente del controlador. Entonces el cerebro del robot se encontrará en encendido para la recepción de las señales, las cuales serán mandadas por un dispositivo wifi (Controlador de señal) a otro dispositivo (Procesador de señales del microcontrolador); alimentado por una batería química desechable, las señales que recibirá serán de manera inalámbricas y enviara una señal para poder rotar las llantas del robot.

Caso 3: 

- Encendido del controlador: 1
- Mandar y recibir señal: 5
- Procesar la señal: 1
- Energizar robot: 4
- Controlar señal: 4

El caso 3 de la **tabla 4**, el encendido del controlador será de forma directa, es decir, llegará un pulso (1) al controlador el cual ya estará alimentado por una fuente externa todo el tiempo. Entonces el cerebro del robot ya estará en encendido para recibir las señales, las cuales serán mandadas por comunicación serial, es decir cableada desde un microcontrolador externo. Los motores del robot serán ejecutados por actuadores electromagnéticos. La alimentación será externa directamente de una fuente de alimentación monofásica y controlada por un mando de control alámbrico.

Caso 4: 

- Encendido del controlador: 1
- Mandar y recibir señal: 1
- Procesar la señal: 1
- Energizar robot: 1
- Controlar señal: 2

El caso 4 de la **tabla 4**, el encendido del controlador será de forma directa, es decir, llegará un pulso (1) al controlador el cual ya estará alimentado por una fuente externa todo el tiempo. El cerebro del robot se encontrará encendido para recibir señales, que serán enviadas de forma inalámbrica de un dispositivo (Controlador de señal) a otro dispositivo (Procesador de señales del microcontrolador); estas señales recibidas serán de manera inalámbrica RF las cuales utilizaremos para enviar una señal y así poder movilizar al robot. la fuente de alimentación que se encarga de energizar este movimiento será una batería química reusable.

Caso 5: 

- Encendido del controlador: 2
- Mandar señal: 2
- Procesar la señal: 1
- Energizar robot: 1
- Controlar señal: 2

El caso 5 de la **tabla 4**, El encendido del controlador será de forma directa, es decir, llegará un pulso (1) al controlador. El módulo de radio frecuencia será el medio por el cual enviaremos las

comunicaciones con el microprocesador que controla al robot, con la utilización de un mando inalámbrico, el cual lo podrá mover, girar y habilitar la opción de recibir señales de los sensores del robot. La alimentación del robot se dará por medio de una batería química reusable. Los motores del robot son controlados por el microcontrolador por medio de actuadores eléctricos.

3.6. Criterios De Selección

3.6.1. Criterio Técnico

En la **tabla 5** se muestra las ponderaciones del criterio técnico por cada caso con un máximo de ponderación de 5.

Tabla 5.

Ponderaciones – Criterio Técnico.

| N° | CRITERIO NOMBRE | PONDERACION | CRITERIO TECNICO | | | | | | | | | | Σ Max | |
|--------------------|------------------------------|-------------|------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|--------------------|
| | | | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 | Caso 5 | P* Caso 1 | P* Caso 2 | P* Caso 3 | P* Caso 4 | P* Caso 5 | | Max de Ponderación |
| 1 | Buen uso de Fuerza y Energía | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 20 | 12 | 20 | 16 | 16 | 5 | 20 |
| 2 | Seguridad | 2 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 10 | 8 | 8 | 10 | 10 | 5 | 10 |
| 3 | Velocidad | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 10 |
| 4 | Estabilidad | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 25 | 25 | 15 | 25 | 25 | 5 | 25 |
| 5 | Rigidez | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 5 | 20 |
| 6 | Manipulación | 5 | 5 | 5 | 2 | 5 | 4 | 25 | 14 | 10 | 25 | 20 | 5 | 25 |
| 7 | Facilidad de Manejo | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 25 | 10 | 20 | 25 | 25 | 5 | 25 |
| 8 | Transportabilidad | 4 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 20 | 20 | 8 | 20 | 20 | 5 | 20 |
| 9 | Calidad de Trabajo | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 20 | 20 | 16 | 16 | 16 | 5 | 20 |
| 10 | Complejidad | 5 | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 25 | 10 | 10 | 15 | 15 | 5 | 25 |
| Sumatorias Totales | | | | | | | | 194 | 164 | 131 | 176 | 171 | 1 | 200 |

Nota: Cuadro de criterios técnicos para un buen funcionamiento

3.6.2. Criterio Económico

En la **Tabla 6** se muestra las ponderaciones del criterio económico por cada caso con un máximo de ponderación de 5.

Tabla 6.
Ponderaciones – Criterio Económico.

| N° | CRITERIO NOMBRE | PONDERACION | CRITERIO TECNICO | | | | | | | | | | Σ Max | |
|---------------------------|---------------------|-------------|------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------------|
| | | | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 | Caso 5 | P* Caso 1 | P* Caso 2 | P* Caso 3 | P* Caso 4 | P* Caso 5 | | Max de Ponderación |
| 1 | Número de Piezas | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 5 | 20 |
| 2 | Facultad de Montaje | 5 | 4 | 5 | 2 | 5 | 5 | 25 | 25 | 10 | 25 | 25 | 5 | 25 |
| 3 | Productividad | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 25 | 20 | 20 | 20 | 20 | 5 | 25 |
| 4 | Costos Diversos | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 5 | 25 |
| 5 | Pocos Desperdicios | 2 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 2 | 4 | 10 | 2 | 8 | 5 | 10 |
| Sumatorias Totales | | | | | | | | 93 | 90 | 81 | 88 | 94 | Total Máximo | 105 |

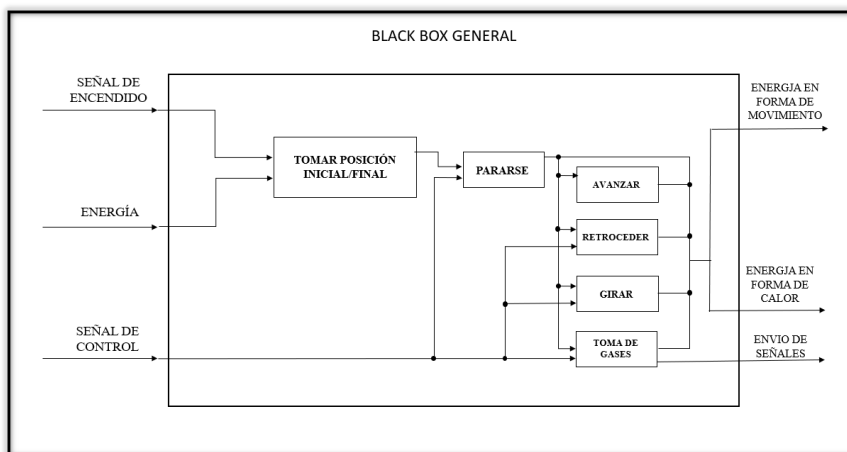
Nota: Criterios técnicos para economía de las piezas

Según los resultados de la **Tabla 6** para este rubro la solución 4 se perfila como la mejor de todas con una ligera ventaja sobre la solución 1.

3.7. Blackbox Detallada

Figura24.

Blackbox



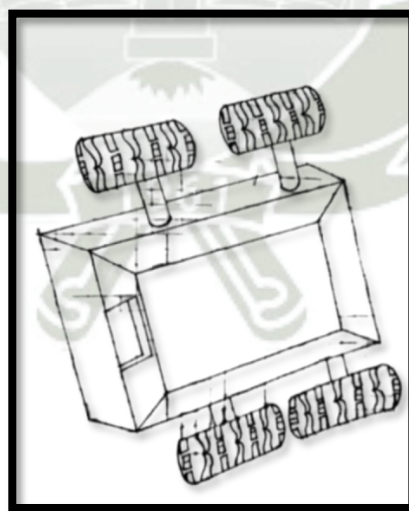
Nota: Blackbox detallado del Robot

3.8. Diseño Preliminar

3.8.1. Elaboración de Bocetos

Figura25.

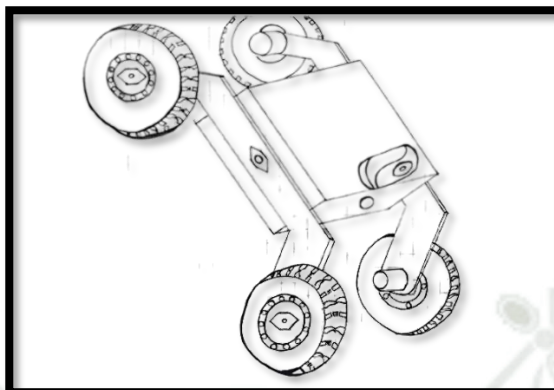
Boceto 1



Nota: Primer diseño

Figura26.

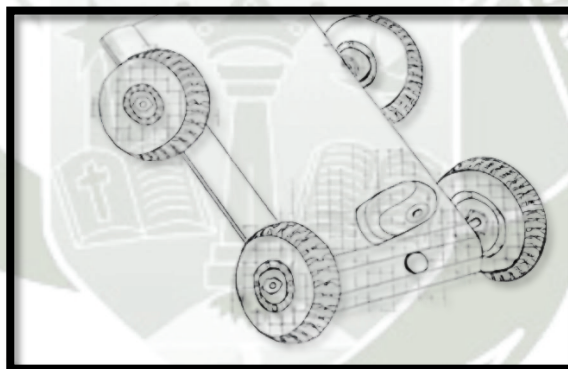
Boceto 2



Nota: Segundo diseño

Figura27.

Boceto 3



Nota: Tercer diseño

Tabla 7.

Tabla de Bocetos

| BOCETO | BOCETO 1 | BOCETO 2 | BOCETO 3 |
|------------------|----------|----------|----------|
| Función | 3 | 4 | 4 |
| Forma | 3 | 4 | 4 |
| Diseño | 3 | 3 | 4 |
| Seguridad | 3 | 3 | 4 |

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| Ergonomía | 3 | 3 | 3 |
| Fabricación | 3 | 3 | 4 |
| Montaje | 3 | 3 | 4 |
| Transporte | 2 | 4 | 4 |
| Uso | 2 | 4 | 3 |
| Costos | 3 | 3 | 4 |
| Plazos | 3 | 3 | 3 |
| TOTAL | 31 | 37 | 41 |

Nota: Cuadro comparativo de cada diseño

De acuerdo a la **Tabla 7**, Se determinó que la mejor elección sería el boceto 3 ya que presenta la más alta puntuación en de la tabla de bocetos, por lo que esta opción se rige mucho mejor a nuestros objetivos y a la lista de especificaciones que necesitamos; por tanto, este será nuestro diseño preliminar y está abierto a nuevos cambios o ajustes que se necesiten posteriormente.

3.9. Determinación de Características

3.9.1. Controlador

Se realizó las características de cada Placa en el mercado y semuestra en la **Tabla 8**.

Tabla 8.

Características de Placas

| COMPONENTES | CARACTERISTICAS |
|---------------------|---|
| ARDUINO | Tiene hardware de código abierto, o que significa que el hardware se puede reproducir y modificar fácilmente si es necesario, algo que es prácticamente imposible con la Raspberry Pi, diseñado para proyectos de electrónica en los que se controlan las E/S mediante programación C con el IDE de Arduino instalado en una computadora Windows, Linux o Mac Precio: S/ 34 |
| RASPBERRY PI | Se ejecuta un sistema operativo Linux completo, pueden ejecutar aplicaciones avanzadas como suites ofimáticas, editores de fotografías, Herramientas de programación visual de Scratch, Diseño web con HTML/CSS, lenguaje de programación pitón es extensible |

| | |
|--------------|--|
| | gracias a accesorios de hardware y placas complementarias HAT (Hardware Attached on Top) Precio. S/600 |
| ESP32 | Código abierto procesador potente con soporte para conectividad WiFi y Bluetooth Las plataformas ofrecen un camino intermedio entre la eficiencia energética y las capacidades en tiempo real de las placas Arduino y la naturaleza completa de Raspberry Pi Linux SBC. Los integrados contienen tecnología inalámbrica y pueden funcionar en condiciones difíciles con una temperatura de funcionamiento de entre -40 °C y 125 °C, Las velocidades de WiFi 150 Mbps para ESP32 Precio. S/65 |

Nota: Cuadro comparativo de Placas, datos extraídos de (CNX, 2023)

De los datos de la **Tabla 8** observamos que el Arduino es la mejor opción para el proyecto por su control de E/S en tiempo real, proyectos que funcionan con baterías y también viene con buenos materiales para la educación STEM. Aun menor precio que las demás placas

Aunque el Raspberry Pi es la plataforma más potente y versátil. Con mayor cantidad de recursos para proyectos que requieren una potente computadora con Linux. Tienen un mayor costo y funciones que no son necesarias para este proyecto.

El ESP32 es excelente para agregar conectividad WiFi o Bluetooth a un proyecto es opciones rentables. La desventaja es que la plataforma puede ser más adecuada para personas con mayores conocimientos de electrónica y programación, con precio intermedio. (CNX, 2023)

Quedando como ganador para este proyecto el Arduino. Para analizar cual seria el microcontrolador para Arduino necesario, utilizaremos la **Tabla 9** con características del mercado.

Tabla 9.

Ponderaciones – BOCETOS.

| CARACTERISTICAS / ARDUINO | UNO | LEONARDO | NANO | MINI | MEGA |
|----------------------------------|--|--|--------------------|----------------------------|---|
| MICROCONTROLADOR | Atmega 328P | Atmega 32u4 | Atmega 328P | Atmega 328P | Atmega 2560 |
| VOLTAJE DE ENTRADA | 7-12 V | 7-12 V | 7-12 V | 7-9 V | 7-12 V |
| VOLTAJE DE ENTRADA LIMITE | 6-20V | 6-20V | - | No más de 9 V | 6-20V |
| PINES DIGITALES I/O | 14 | 20 | 22 | 14 | 54 |
| PINES ANALOGICOS | 6 | 12 | 8 | 8 | 16 |
| CORRIENTE DC PINES | 20 mA | 40 mA | 40 mA | 40 mA | 20 mA |
| MEMORIA FLASH | 32 KB | 32 KB | 32KB | 32KB | 256 kB |
| SRAM | 2 KB | 2.5 KB | 2 KB | 2 KB | 8 KB |
| EEPROM | 1 KB | 1 KB | 1 KB | 1 KB | 4 KB |
| PESO | 25 g | 20 g | 7 g | - | 37 g |
| TAMAÑO | 68.6x53.4 mm | 68.6x53.3 mm | 18x45 mm | 30x18 mm | 101.52x53.3 mm |
| CONEXIÓN A COMPUTADORA | USB | USB | USB mini B | Adaptador USB | USB |
| COSTO | 22 | 19.80 | 22 | - | 38.80 |
| OTROS | *Compatible a adaptador AC/DC *Batería como F.A | * Botón de Reinicio *Comunicación USB | *Botón de Reinicio | *Versión compacta del NANO | *13 Led incorporados * Botón de Reinicio |

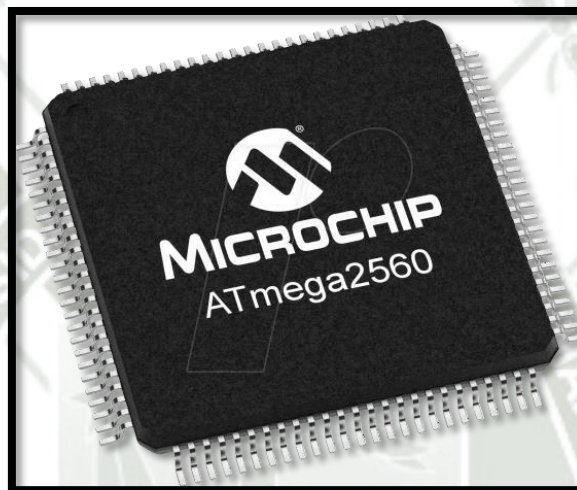
Nota: Cuadro comparativo de los microcontroladores

Gracias a la **Tabla 9** se escogió el Controlador Mega 2560 ya que este cuenta con una gran memoria flash para el control de los motores con reductora y la recepción de 4 sensores para

distintos tipos de gases. Gracias al protocolo de comunicación síncrono I2C, el cual usa sólodos cables, uno para el reloj (SCL) y otro para el dato (SDA), manteniendo así comunicación entre el maestro y esclavo por el mismo cable, el cual es controlado por el maestro que crea la señal de reloj, la cual se muestra en la **Figura 28**.

Figura28.

Atmega 2560.



Nota: Microchip Atmega 2560. (SanpEDA, 2015)

3.9.2. Selección De Actuadores

Una vez elaborado el diseño del robot con sus longitudes, materiales y masas. Podemos realizar un análisis más completo para la selección de los actuadores. Tendremos el uso de motores como actuadores, pero escoger un motor en especial requiere de varios factores tales como torque, velocidad, precisión, tamaño, volumen, peso y funcionalidad. De entre todo el torque es el factor de más interés puesto a que este parámetro determinara la fuerza de giro con que empujara todo el peso del vehículo y que es requerido para los terrenos que se enfrentara el robot.

Luego de una extensa revisión en diferentes catálogos de fabricantes, se decidió optar por motores con reductora Buelher. Se opto por usarlos Porque poseen torque más elevado necesario

para el movimiento del robot y que pueda trepar diferentes superficies, con el menor peso para este y tamaño.

- Tienen una salida de par muy elevado gracias a su cabezal con engranes.
- Motor con reductora y alta eficiencia

Una vez escogido el tipo de motor necesitaremos especificar el modelo y necesario donde veremos el torque y la velocidad necesarios para el mejor movimiento del robot. Dicho esto, se realizará un cálculo de torques obtenidos de un modelo dinámico.

Tenemos el peso total del vehículo $M=0.2 \text{ kg}$

Tenemos los siguientes datos:

$$D_{Llanta} = 16 \text{ cm} = 0.16 \text{ m}$$

$$d_{al \text{ eje}} = 8 \text{ cm} = 0.08 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0.8$$

$$\mu_k = 0.6$$

$$Ruedas = 4$$

$$m = \frac{M}{Rue} = \frac{0.2}{4} = 0.05 \text{ kg}$$

Tenemos la masa m que deberá cargar cada llanta. Y hallaremos de ahí el torque mínimo necesario para desplazarse

$$f_{max} = \mu_s * N = \mu_s * mg$$

$$f_{max} = 0.8 * 0.05 \text{ kg} * \frac{9.8 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$f_{max} = 0.392 \text{ N}$$

$$\tau = f_{max} * d$$

Torque mínimo necesario del motor para avanzar el prototipo 4WD

$$\tau = 0.392N * 0.08m$$

$$\tau = 0.03136 Nm$$

$$\tau = 319.8 gr - cm$$

Al valor obtenido en el cálculo anterior le damos un factor de seguridad de 1.2, obteniendo un torque de 383.76 gr-cm.

Del resultado obtenido tenemos que el buelher de 12V con 500 rpm Heavy Duty con Reductor **Figura 29**:

- Posee un torque de 714 gr – cm
- Reversible
- Utiliza una tensión de funcionamiento entre 6 - 12 V
- Corriente de funcionamiento de 140 mA
- Sus dimensiones están de acuerdo con los requerimientos
- Limitador de revoluciones a 500 rpm para una mejor velocidad de desplazamiento

Figura29.

Motor DC con reductora Buelher 12V a 500 Rpm



Nota: Imagen motor Buehler DC de 12V. (eBay, 2022)

3.9.2.1. Selección de Motor con Reductora

Basándonos en los cálculos y el torque necesario, para el desarrollo de nuestro trabajo necesitaremos un motor con reductora de torque mínimo de 639.3 gr-cm, a lo que en nuestra **Tabla 10** los dos primeros servos quedan descalificados, teniendo en cuenta el precio y el parecido en las características técnicas del tercero y el cuarto, optaremos por el cuarto que nos ofrece un mayor torque.

Tabla 10.

Selección de Motores

| TIPOS DE MOTOR CON REDUCTORA | Motor 12 V 100 rpm | Motor 12 V 150 rpm | Motor 12 V 300 rpm | Motor 12 V 500 rpm |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Características importantes | | | | |
| Total, de Servos | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Dimensiones | 109*29*31 mm | 109*29*31 mm | 109*29*31 mm | 40.7*19.7*42.9 mm |
| Par de trabajo | 11Kgxcem | 7Kgxcem | 1.3Kgxcem | 0.714kgxcem |
| Voltaje Max de trabajo | 12.0V | 12.0V | 12.0V | 12.0V |
| Corriente Max de trabajo | 800 mA | 800mA | 800mA | 65mA |
| Precio (x18) | S/. 326.00 | S/. 326.00 | S/. 652.00 | S/. 400.00 |
| Peso (x18) | 265 g | 241.2 g | 990 g | 565 g |

Nota: Cuadro comparativo de los motores

De la **Tabla 10** revisando las características de los Motores y comparándolo con las necesidades del proyecto escogemos el Motor DC con reductora Buelher 12V a 500 Rpm, gracias a su potencia, dimensiones y los rpm necesarios para el desplazamiento del robot

La velocidad del robot una vez seleccionado el motor deseado

$$\tau = 0.714 \text{ kg} - \text{cm}$$

Calculamos la fuerza

$$\tau = F * D$$

$$F = 0.714kg - cm/16cm$$

$$F = 0.044 kg$$

Cálculo de la aceleración

$$F = m * a$$

$$0.045kg = 0.2kg * a$$

$$a = 0.22$$

Hallamos la velocidad

$$Vf^2 = Vo^2 + 2 * a * d$$

$$Vf^2 = 0^2 + 2 * (0.22) * 5$$

$$Vf = 1.5 m/s$$

Se determino una velocidad final de 1.5 m/s

3.9.3. Selección de Baterías

Se empezó haciendo un calculo del consumo de cada componente donde observamos

- 1 L298n: 36mA
- 4 Motor Buelher: 480mA
- 1Placa con Atmega: 50mA
- 3 sensores MQ: 450mA
- 1 Sensor Mics: 32mA

La suma total de las corrientes nos da como resultado la sumatoria Total:

1048mA o 1.048 A.

Donde analizando el resultado se realizó un cuadro comparativo con las características de cada batería y mostrado en la **Tabla 11**.

Tabla 11.

Selección de la Batería

| TIPOS DE BATERIA | Ni/Cd | Li-Ion | Ni/MH | LiPO 2 celdas |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------|
| Características importantes | | | | |
| Voltaje | 4.8VDC | 3.7 VDC | 4.8 VDC | 7.4V, 2 celdas |
| Dimensiones | 30.2*54.1*30.2 mm | 84*49*13 mm | 41x11x31 mm | 138 x 47.5 x 24.5 mm |
| Peso | 72.6 g | 110g | 53.9g | 206 gr |
| Capacidad de Carga | 600 mAh | 3100 mAh | 1700 mAh | 2200 mAh |
| Recargable | Si | Si | Si | Si |
| EcoFriendly | No | Si | Si | Si |
| Precio | Barato pero Descontinuado | Caro (70 soles) | Barato pero Descontinuado | Caro |

Nota: Cuadro comparativo de las baterías

De la **Tabla 11** Se escogió la batería de litio Li-Ion recargables, porque además de su ligereza, posee una excelente densidad de carga y corriente nominal excelente para el trabajo dando mayor cantidad de corriente, entre sus ventajas esta no posee químicos contaminantes y no es tan inflamable como las baterías lipo. Pueden recargarse más rápido sin dañar la estructura de la batería.

3.9.4. Selección de Comunicación Inalámbrica

Después de haber observado gran parte del diseño del robot y definido las longitudes, materiales y masas, es posible realizar un análisis más completo para la selección de los componentes. Se hizo la selección de la comunicación inalámbrica, la que nos permitirá poder controlar el robot, como semuestra en la **Tabla 12**.

Tabla 12.

Características comunicación inalámbrica.

| TIPOS DE Comunicaciones inalámbricas | Wi fi | Bluetooth | RF | Xbee | Comunicación serial | SPI |
|---|--------------|------------------|-----------|-------------|----------------------------|------------|
| Características | | | | | | |
| Frecuencia | 2.4, 5 GHz | 2.4 GHz | 2.4 GHz | 2.4 GHz | 0.2 Hz | 2.4 ghZ |
| Transferencia de Datos | 0.1-1 Mb/s | 1,2,1,3 Mb/s | 2 Mb/s | 250 kb/s | 19.2 kb/s | 2Mbps |
| Alcance | indefinido | 100m | 100 - 1km | 100m | 15 m | 100 m |
| Energía consumida | medio | bajo | bajo | Bajo | bajo | Bajo |
| costo | medio | bajo | bajo | Alto | medio | bajo |

Nota: Cuadro comparativos del tipo de comunicación inalámbrica

Las Características del robot son mostradas de manera más detallada en la **Tabla 13**, donde esta explicada cada sección del robot en tipo, características y descripción con fundamentos de cada uno de ellos según las tablas comparativas elaboradas anteriormente, las cuales fueron de mucha ayuda para la elección de cada pieza del robot.

Tabla 13.

Características Robot 4WD.

| TIPO | CARACTERÍSTICA | Descripción - Fundamento |
|------------|---------------------------------|--|
| Estructura | Material | Para la estructura física del robot el que más nos conviene es el ABS entre sus propiedades tiene un punto de fusión más alto y una vida más larga que el PLA, garantiza que los objetos impresos se adhieran a la plataforma y sea más resistentes, flexibles y una mayor durabilidad y lo que nos concierne más es su maquinabilidad que es Media ya que usaremos una impresora 3D. |
| | Fabricación | Haremos el uso de impresión 3D, dado que la forma de los componentes se tiene con más detalles (curvas, lugares de poco alcance - C) para los ensambles de los equipos |
| | Acabado | El acabado con respecto a los que da una impresora 3D va de la mano con el costo total ya que a un acabado más fino y relleno más costoso. |
| Control | Llantas | Para el mejor traslado en el terreno, es que se utilizara llantas de mayor diámetro (16cm) con cocos, o inserciones para mejor agarre al terreno. |
| | Cerebro | Microcontrolador MEGA 2560, según la Tabla N°9 se escogió este microcontrolador pensando que se tiene suficientes entradas y salidas analógicas requeridas en este proyecto, un voltaje de entrada de 7-12 V pensado para este trabajo. Aun siendo de grandes dimensiones no significa un impacto significativo en el diseño (101.52 mm x 53.3 mm), pesa 37g. |
| | Modulo Comunicación inalámbrica | Según la tabla 12 escogimos el NRF24L01, este pequeño módulo de transmisión y recepción de muy bajo costo y consumo que permite ser utilizado en cualquier proyecto para envío y recepción de forma inalámbrica sin complicaciones del sistema. Incluye antena, frecuencia ISM 2.4GHz, Control de Datos SPI, Modulación GFSK con control de ganancia automático. Su diseño se pensó para ocupar un área de PCB mínima (14,30 mm x 24.80 mm). Alimentación de 1.9V a 3.6V. |
| Ruedas | Conexionado | Se usarán cables de calibre 22 con terminales Dupont, siendo hembra o macho según se requiera. |
| | Motor | Según la tabla N°10, el con reductora buehler, es alto frente a los otros por contar con un alto Torque, hasta 0.714Kg-cm, el cual, junto a su precio, lo hacen ser el idóneo para nuestro proyecto |
| | Uniones | Este es Robusto, tiene alto rendimiento, compacto, entre otros atributos |

| | | |
|---------------------|-------------|--|
| Alimentación | Batería | Según la tabla N.11 fue elegido la batería de iones de litio de 2 celdas porque además poco peso, posee muy buena densidad de carga y corriente nominal para el trabajo, y entre sus ventajas esta que no tiene químicos contaminantes y por tanto no es inflamable como la batería lipo, también que se pueden recargar más rápido sin dañar la estructura de la batería. |
| | Conexionado | Placas PCB, y cables |

Nota: Cuadro de descripción y fundamentos

CAPITULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Comprobación de Envío de Señales de los Sensores

En el Anexo 2 se muestra el código de Arduino donde del mando y automóvil verifica la interconexión de ambos circuitos si hay envío y recepción de señal entre ambos. Resultados obtenidos en la **Figura 30**

Figura30.

Resultados de la Conexión entre ambos Dispositivos

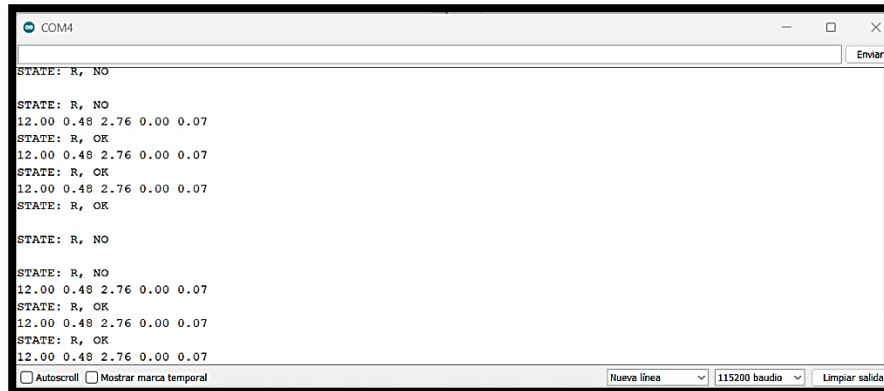


Nota: Arduino Serial Ploter.

Al utilizar el pulsador, el robot empezara a obtener las señales de los sensores y transmitir las al mando del control para visualizar en el computador, podemos apreciar en la **Figura 31**, como envía señal de los sensores y se observa en serial ploter.

Figura31.

Resultados del envío de señales de los sensores al Mando de Control



```

COM4
STATE: R, NO
STATE: R, NO
12.00 0.48 2.76 0.00 0.07
STATE: R, OK
12.00 0.48 2.76 0.00 0.07
STATE: R, OK
12.00 0.48 2.76 0.00 0.07
STATE: R, OK
STATE: R, NO
STATE: R, NO
12.00 0.48 2.76 0.00 0.07
STATE: R, OK
12.00 0.48 2.76 0.00 0.07
STATE: R, OK
12.00 0.48 2.76 0.00 0.07
Autoscroll  Mostrar marca temporal  Nueva línea  115200 baudio  Limpiar salida
    
```

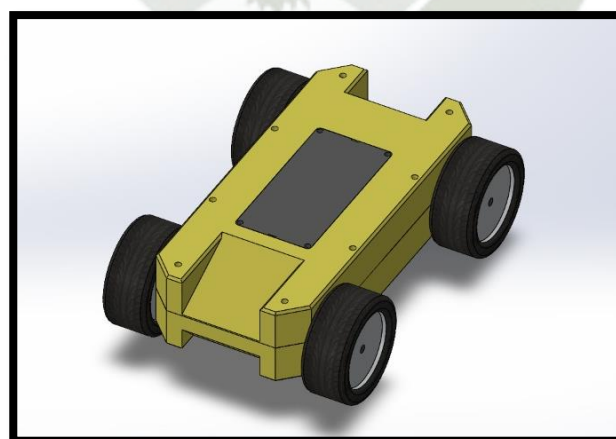
Nota: Arduino Serial Plóter.

4.2. Análisis de Esfuerzo

El objetivo principal de este análisis es el comportamiento de los elementos con un esfuerzo actuando sobre ellos y evaluar sus componentes y su deformación plástica al tener un numero de cargas en los componentes.

Figura32.

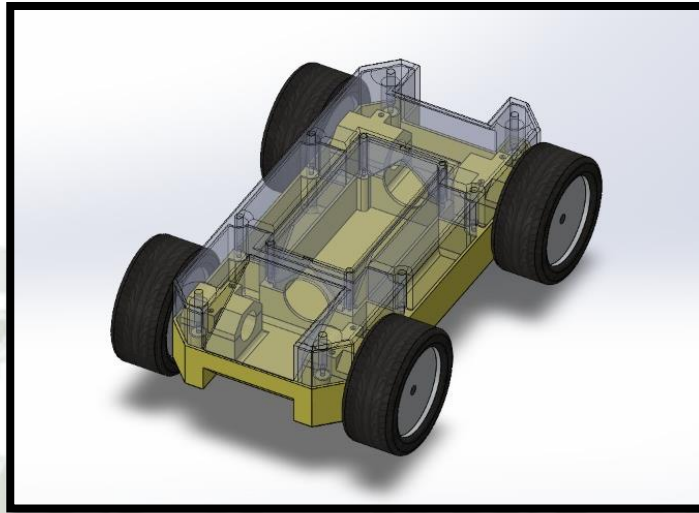
Robot 4WD en SolidWorks 2019



Nota: Diseño del robot en Solidwork

Figura33.

Análisis interno Robot 4WD en SolidWorks 2019



Nota: Visualización del análisis interno del robot

El Software utilizado para el estudio y la simulación será el Solidworks 2019 el cual es capaz de generar y validar la información sobre el análisis en cada uno de los componentes, teniendo en cuenta las opciones de elementos finitos y la generación de resultados con valores muy cercanos a los reales en esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad.

Tomando en cuenta que las cargas aplicadas a los componentes del robot no son significativamente grandes dado componentes instalados y el tipo de material a usar será el ABS, los resultados en cuanto a la deformación serán minúsculos si son comparados con un robot industrial. Este análisis y simulación de esfuerzos busca reforzar y corroborar lo ya es sabido, así como obtener información complementaria de todos los componentes.

Para este análisis la simulación solo tomara en cuenta los componentes más propensos a fallar, siendo estos: el chasis superior e inferior, base móvil, soporte del motor, y la tapa del soporte del motor.

Todos los componentes por analizar cuentan con un cuerpo sólido y están hechos PBC

Las restricciones se dan en las áreas donde cada componente es apoyado.

Las cargas que se tomaran en cuenta en la simulación son las ejercidas por el peso de los componentes, la gravedad y la carga que moverá el robot. Las fuerzas originadas por la masa de los componentes se hallan en la **Tabla 14**.

Tabla 14.

Componentes para el análisis de resistencia.

| ELEMENTO | CANTIDAD | MASA (G) |
|---------------------------|----------|----------|
| CHASIS INFERIOR | 1 | 90 |
| CHASIS SUPERIOR | 1 | 70 |
| SOPORTE DEL MOTOR | 1 | 35 |
| TAPA DEL SOPORTE DEL MOTR | 1 | 25 |
| ACOPLES DE LLANTAS | 4 | 10 |

Nota: Cuadro de componentes y masas

Los planos de cada componente al detalle y ensamble en el **Anexo 6**.

En cuanto a los resultados ofrecidos de la simulación por elementos finitos se obtienen 3, siendo estos:

Tensión de Von Mises: Indica el máximo esfuerzo aplicado al componente.

STRN: Indica la cantidad de movimiento que ejerce la carga.

URES: Indica el desplazamiento en mm.

4.3.Resultado De Análisis De Esfuerzo

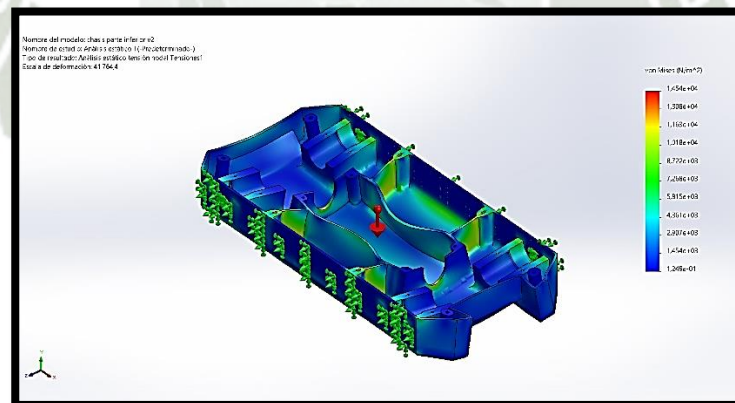
En el análisis realizado a el Chasis inferior se tomó en cuenta la carga que ejercerán los componentes como la placa, las baterías se obtuvieron los resultados de: El máximo esfuerzo normal (Mpa) y el Máximo desplazamiento (mm).

Al hacer la comparación en las **Figuras 34, 35 y 36** obtenemos que los esfuerzos y desplazamientos son mínimos y no serán tomados en cuenta.

Los resultados obtenidos fueron $1.454e+04$ (N/m²) máx de esfuerzo de tensión nodal y un min de $1.249e-01$ (N/m²), deformación máx es de $5.529e-06$ y min de $1.190e-09$. Un desplazamiento de $1.042e+03$ mm max y $1.000e-30$ mm min **Anexo 6**

Figura34.

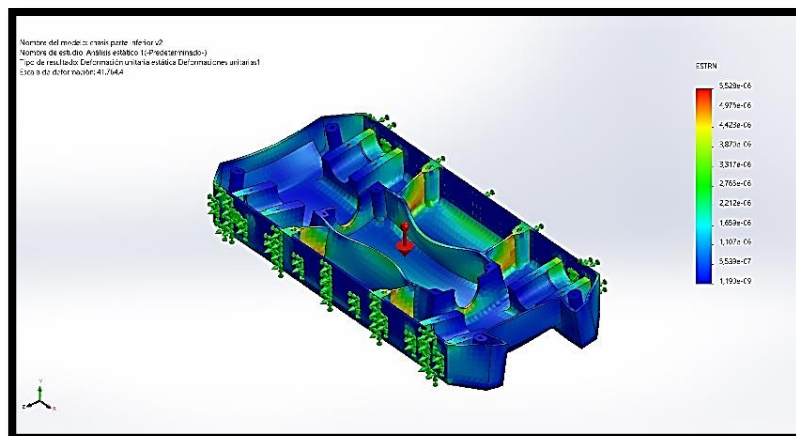
Esfuerzo de Von Mises esfuerzo máximo en el Chasis Inferior



Nota: Solidworks 2019

Figura35.

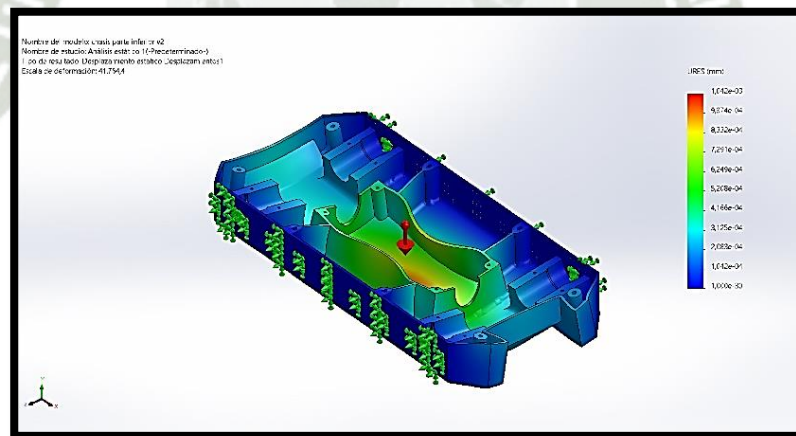
Esfuerzo del Movimiento de la carga (STRN) en el Chasis Inferior



Nota: Solidworks 2019

Figura36.

Esfuerzo del Índice de desplazamiento (URES) en el Chasis Inferior



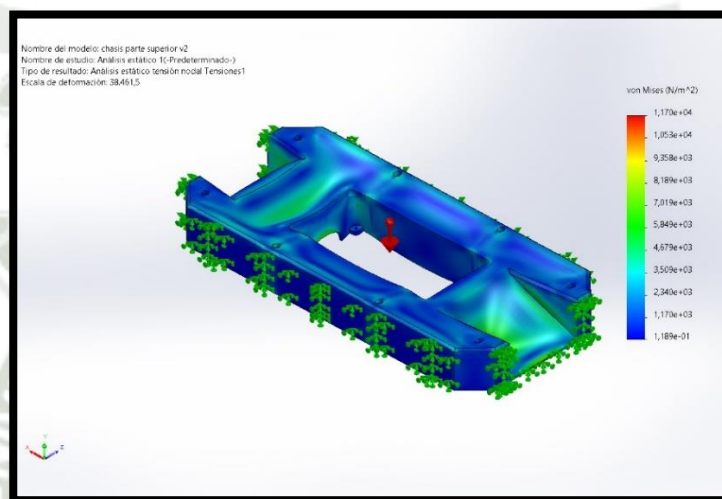
Nota: Solidworks 2019

Al hacer la comparación en las **Figuras 37, 38 y 39** obtenemos que los esfuerzos y desplazamientos son mínimos y no serán tomados en cuenta.

Los resultados obtenidos fueron $1.170e+04$ (N/m²) máx de esfuerzo de tensión nodal y un min de $1.189e-01$ (N/m²), deformación máx es de $4.029e-06$ y min de $1.500e-09$. Un desplazamiento de $1.233e-03$ mm max y $1.000e-30$ mm min **Anexo 6**

Figura37.

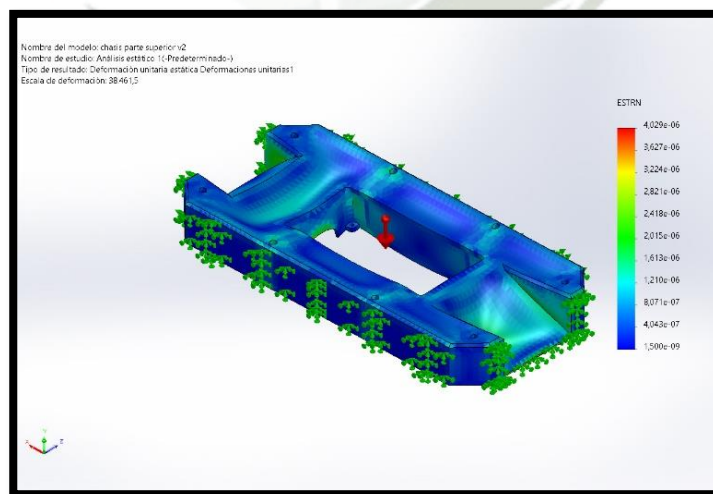
Esfuerzo de Von Mises esfuerzo máximo en el Chasis Superior



Nota: Solidworks 2019

Figura38.

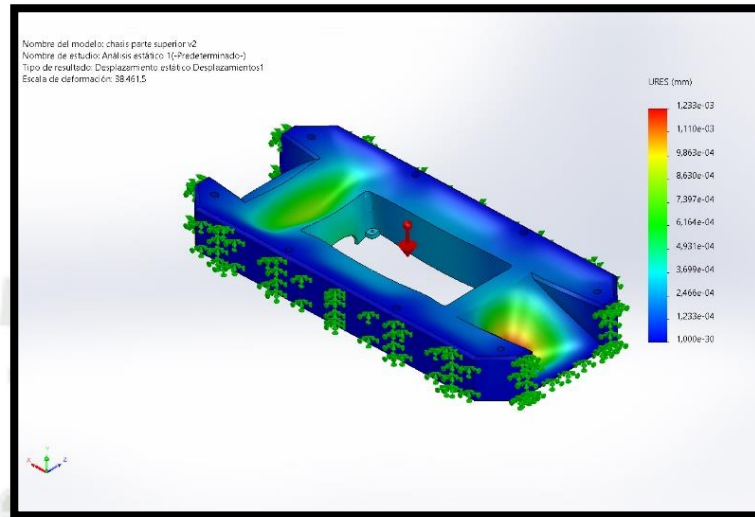
Esfuerzo del Movimiento de la carga (STRN) en el Chasis Superior



Nota: Solidworks 2019

Figura39.

Esfuerzo del Índice de desplazamiento (URES) en el Chasis Superior



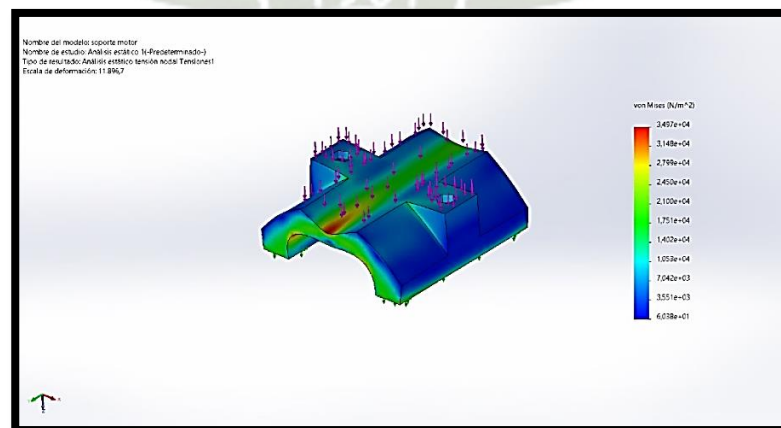
Nota: Solidworks 2019

Al hacer la comparación en las **Figuras 40, 41 y 42** obtenemos que los esfuerzos y desplazamientos son mínimos y no serán tomados en cuenta.

Los resultados obtenidos fueron $3.497e+04$ (N/m²) máx de esfuerzo de tensión nodal y un min de $6.038e+01$ (N/m²), deformación máx es de $1.426e-05$ y min de $1.058e-07$. Un desplazamiento de $5.170e-04$ mm max y $1.000e-30$ mm min **Anexo 6**

Figura40.

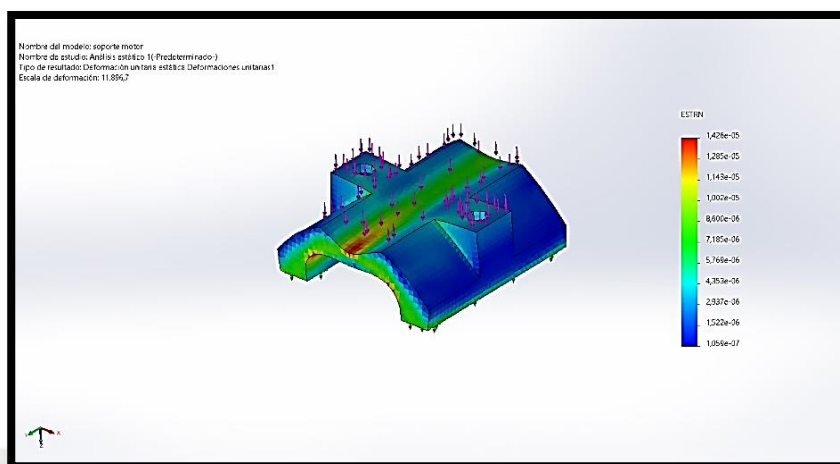
Esfuerzo de Von Mises esfuerzo máximo en el Soporte del Motor



Nota: Solidworks 2019

Figura41.

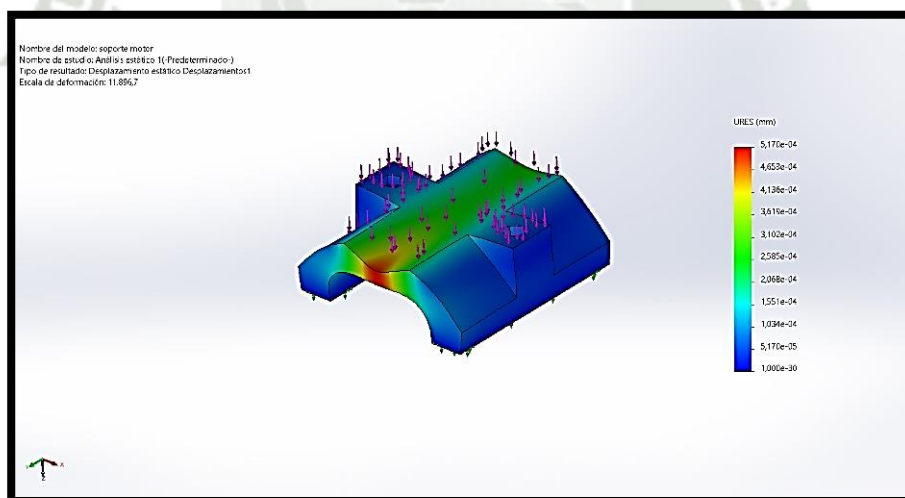
Esfuerzo del Movimiento de la carga (STRN) en el Soporte del Motor



Nota: Solidworks 2019

Figura42.

Esfuerzo del Índice de desplazamiento (URES Soporte del Motor)



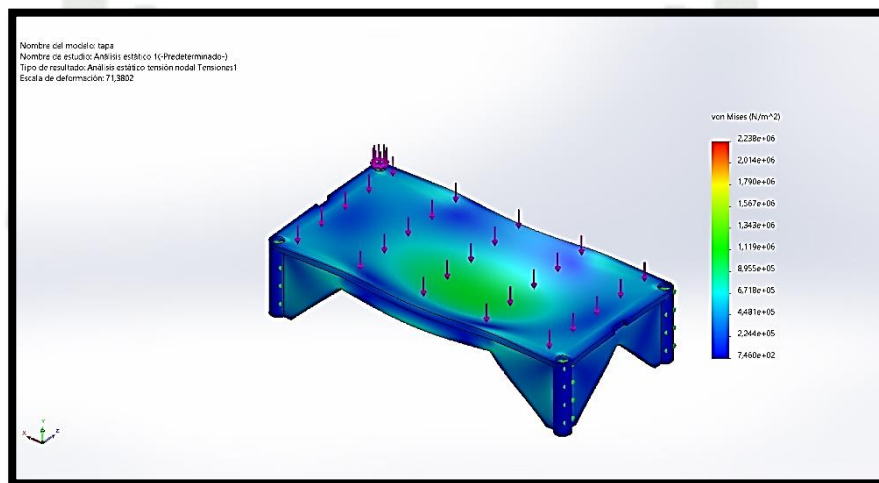
Nota: Solidworks 2019

Al hacer la comparación en las **Figuras 43, 44 y 45** obtenemos que los esfuerzos y desplazamientos son mínimos y no serán tomados en cuenta.

Los resultados obtenidos fueron $2.238e+0.6$ (N/m²) máx de esfuerzo de tensión nodal y un min de $7.460e+0.2$ (N/m²), deformación máx es de $9.192e-0.4$ y min de $5.505e-0.7$. Un desplazamiento de $2.760e-31$ mm max y $1.000e-30$ mm min **Anexo 6**

Figura43.

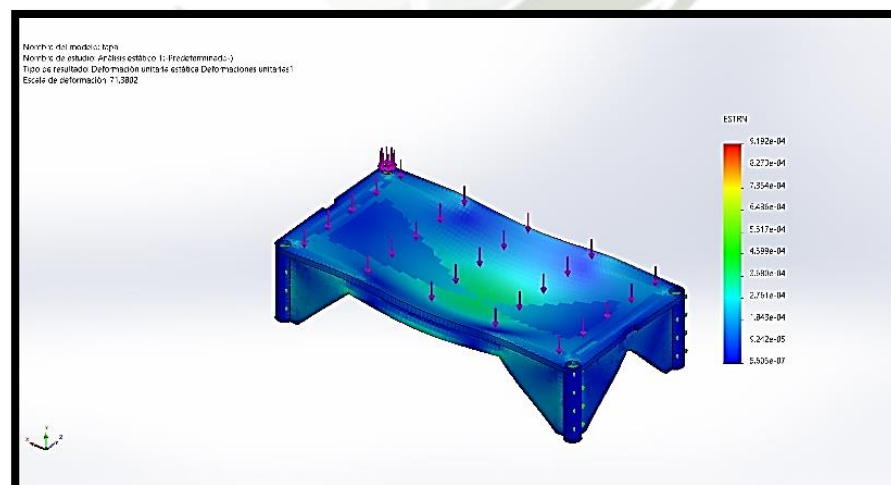
Esfuerzo de Von Mises esfuerzo máximo en la Tapa del Chasis



Nota: Solidworks 2019

Figura44.

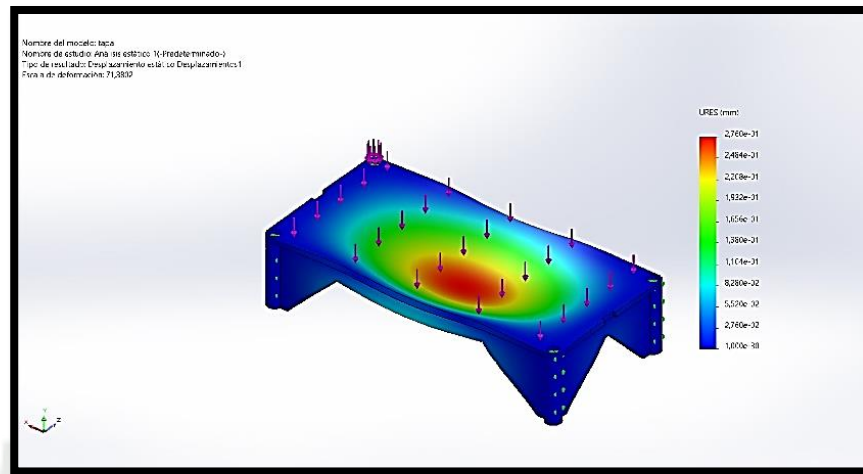
Esfuerzo del Movimiento de la carga (STRN) en la Tapa del Chasis



Nota: Solidworks 2019

Figura45.

Esfuerzo del Índice de desplazamiento (URES) en la Tapa del Chasis



Nota: Solidworks 2019

4.4. Diseño Del Circuito PCB

Luego de tener definido todos los componentes mecánicos, ya es posible realizar la electrónica del robot. Se utilizó el diagrama esquemático del Arduino mega pero modificado a nuestras condiciones de uso.

Es necesario dar como consideración en los componentes electrónicos, que este proyecto está enfocado en diseñar un robot capaz desplazarse por terrenos de tierra y controlado por programas de libre uso, es decir, que no se desea tener las limitaciones de licencias y/o programas especiales que requieran de hardware especiales, como ejemplo tenemos el uso del software PROTEUS; es muy usado en el ambiente educativo, pero muy poco visto en las industrias, este software requiere de una PC o Laptop con requerimientos especiales tales como la memoria RAM, tarjeta de video, procesadores avanzados, etc.

Atendiendo estas consideraciones y como un medio para agregarle peso al presente proyecto, se decidió usar como controlador principal a un microcontrolador.

La decisión de utilizar un microcontrolador como dispositivo de control y no como medio para adquirir datos implica:

- Diseñar una programación capaz de complementar todas las necesidades del robot.
- Trabajar teniendo en cuenta los requerimientos y limitantes del microprocesador tales como la velocidad de transmisión, voltaje en la operación, memoria RAM, etc.
- Obtener un establecimiento en la electrónica en torno al microprocesador.
- Finalmente, una vez definido las consideraciones del uso del microcontrolador es aceptable proceder con el diseño.

Una vez que se pudo definir todos los componentes necesarios, es posible realizar un esquema o diagrama que indique como es que se integran los componentes. Este diseño estará echo para los 4 motores con reductora controlados a distancia con un nrf24101, puesto que es el elemento que requiere más esfuerzo en el proyecto, se muestra el diagrama esquemático, más detallado en el **Anexo 4** y código de programación en Arduino **Anexo 2**.

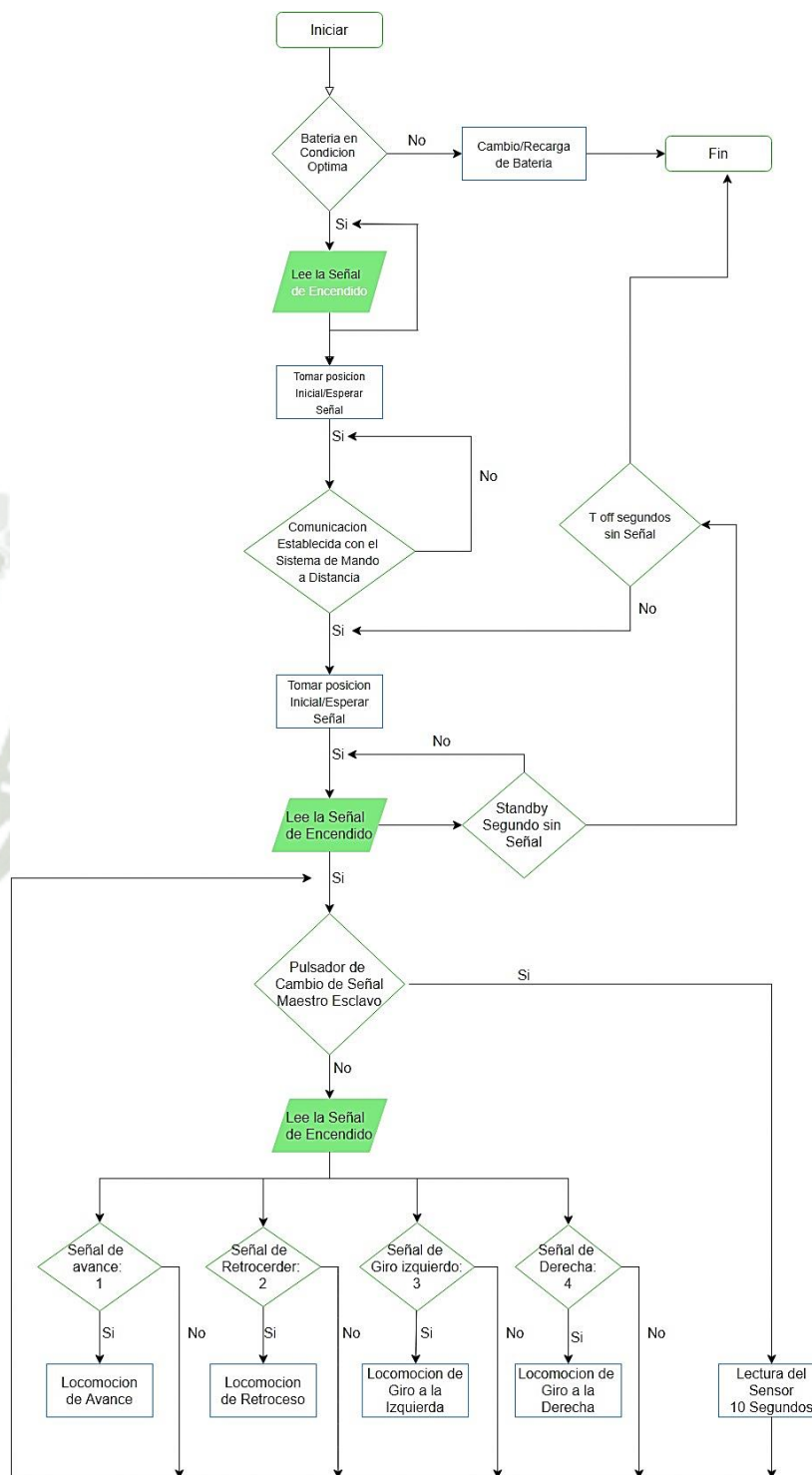
Los motores con reductora controlados a distancia con un nrf2410, se conectarán uno a uno a una placa PCB diseñada (con una alimentación en paralelo) con el fin de ofrecer estabilidad en la tensión de alimentación a nuestros motores y principalmente brindar comodidad y orden a todas nuestras conexiones en el Anexo 2.

4.4.1. Diagrama de Flujo de Control Inalámbrico

El diagrama de flujo definido en la **Figura 46** representa el programa de control a detalle de los procesos de accionamiento del robot.

Figura46.

Diagrama de flujo de control de robot



Nota: Diagrama de funcionamiento del prototipo robotico

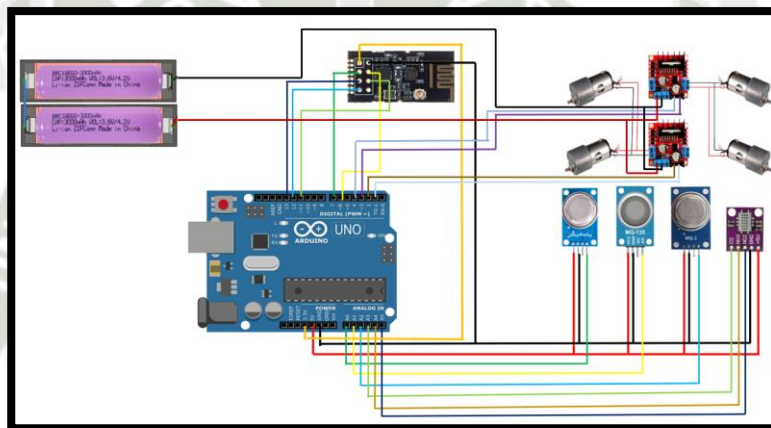
Con la ayuda del diagrama de flujo establecido en la **Figura 46**, se desarrolló la programación en lenguaje C para el software Arduino, el cual está representado en el **Anexo 2**. Distribuido en primera parte para la alimentación del robot, la segunda parte en la comunicación, lectura y análisis de datos y la tercera parte la acción de los actuadores en el circuito de control

4.5. Diagrama General de Conexiones

En la **Figura 47** tenemos el diagrama general de conexiones del auto robótico con todos sus componentes establecidos.

Figura47.

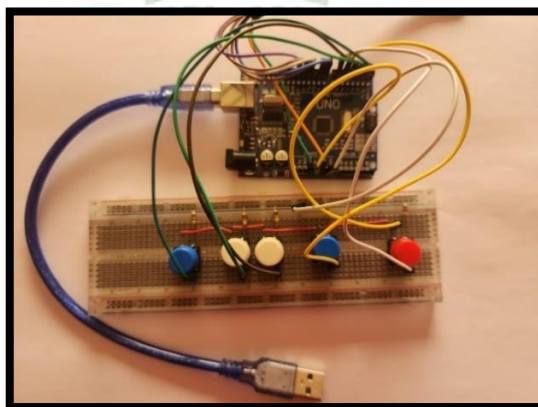
Diagrama general de conexiones del prototipo



Nota: Cableado de cada componente en el robot

Figura48.

Conexión General del Mando de Prueba



Nota: Cableado de componentes del mando

4.6. Pruebas de Interfaz Interactivo Virtual

4.6.1. Prueba de Sensores

Para la validación de los sensores analizamos primeramente el datasheet ubicado en el **Anexo 6**, del cual nos ayudara a generar el código completo ubicado en el **Anexo 2**.

Colocaremos parte del código de cada uno de los sensores utilizados, donde se calibro con los datos en ppm haciendo una comparación con los datos registrados tanto del Decreto Supremo N° 023-2017-EM — Modifica el Decreto Supremo N° 024-2016-EM, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. (DecretoSupremoN°023-(2017)-EM, 2016 - 2017) y Safety Instruments (SafetyInstruments)

SENSORES

// CODIGO DE SENSORES

```
//---MQ4---
```

```
value = analogRead(AOUTpin); // reads the analaog value from the methane sensor's
```

```
AOUT pin
```

```
sensor_values[0] = value/10; //ESCALA
```

```
// limit = digitalRead(DOUTpin); //reads the digital value from the methane sensor's
```

```
DOUT pin
```

```
//Serial.print("MQ4 METANO ppm : ");
```

```
//Serial.print(value); // prints the methane value
```

```
}
```

```
/*if (limit == HIGH) {
```

```
digitalWrite(ledPin, HIGH); //if limit has been reached, LED turns on as status indicator
```

```
}
```

```
else {
```

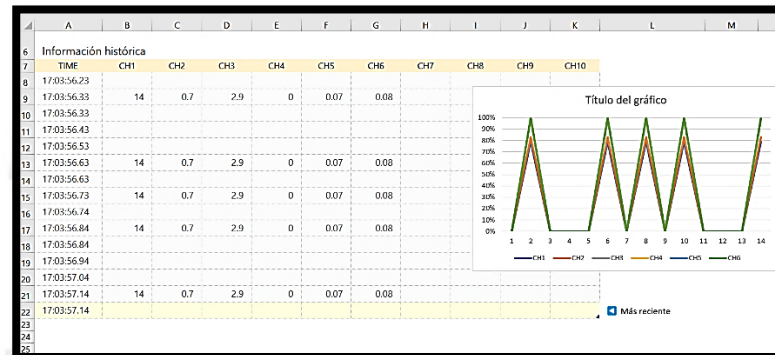
```
digitalWrite(ledPin, LOW); //if threshold not reached, LED remains off
```

```
    }*/  
  
    if ((millis() - ptime2) >= 300)  
    {  
        ptime2 = millis();  
  
        //---MQ135---  
  
        float rzero = mq135_sensor.getRZero();  
  
        float correctedRZero = mq135_sensor.getCorrectedRZero(temperature, humidity);  
  
        float resistance = mq135_sensor.getResistance();  
  
        float ppm = mq135_sensor.getPPM();  
  
        float correctedPPM = mq135_sensor.getCorrectedPPM(temperature, humidity);  
    }  
  
    if ((millis() - ptime3) >= 1000)  
    {  
        ptime3 = millis();  
  
        //---MQ2---  
  
        int adc_mq = analogRead(A1);  
  
        int ppm_1 = adc_mq / 10;  
  
        sensor_values[2] = 0.1316*ppm_1; //ESCALA  
  
        //Serial.print("\t MQ2 ppm GAS: ");  
  
        //Serial.print(ppm_1);  
    }  
  
    if ((millis() - ptime4) >= 500)  
    {  
        ptime4 = millis();
```

En la **Figura 49** nos muestra la curva de los sensores en la primera prueba utilizando Excel para las tomas y el grafico siguiente, en un ambiente de la ciudad.

Figura49.

Grafica Toma de muestra de Sensores en Excel



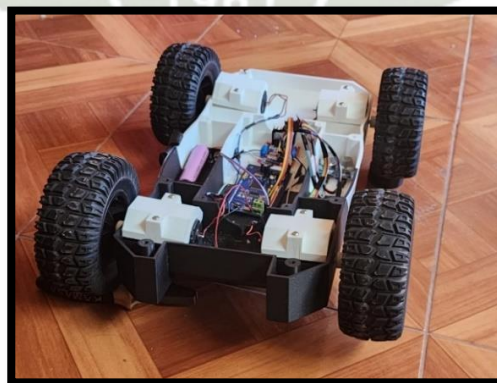
Nota: Gráficos de las pruebas del Sensor y primeras visualizaciones en Excel

4.6.2. Pruebas de Estructura y Desplazamiento del Robot

Primeramente, en la **Figura 50** vemos la estructura y ensamblado de los circuitos del Robot, para inicio de las primeras pruebas de desplazamiento, comprobando que cada circuito cumpla con lo requerido, avance, retroceda y gire. Se detenga y con el pulsador, dar muestreo de los datos.

Figura50.

Primera vista del Robot ensamblado



Nota: El robot completamente ensamblado para la realización de pruebas

Posteriormente en la **Figura 51** se muestra la estructura del robot ensamblada, con pequeños obstáculos para comprobar cuanto es la altura máxima de desplazamiento del robot y su velocidad.

Figura51.

Primera prueba con obstáculos



Nota: Pruebas de obstáculos con diferentes objetos para análisis de fuerza de motores

4.7.Pruebas de Sensores Interior Mina.

En la **Figura 52** mostramos la entrada de la mina en la Joya, donde se realizarán las pruebas en tiempo real del prototipo y datos de los sensores

Figura52.

Entrada al interior de la mina



Nota: Primera vista del interior de la mina

En la **Figura 53** tenemos la toma de datos en el interior de mina en tiempo real, donde se tomarán muestras después de una pequeña detonación para la extracción de mineral.

Figura53.

Pruebas en tiempo real en el interior de la mina

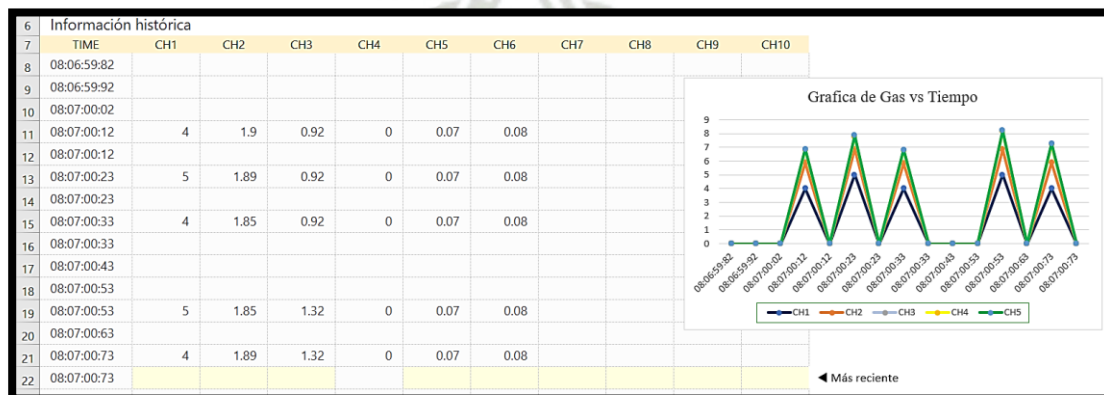


Nota: Pruebas en tiempo real dentro de la mina

Posteriormente, realizamos pruebas en diferentes partes de la minera, una prueba entrando 8 metros interior de la mina en la **Figura 54**, y el segundo en la **Figura 55** a más de 15 metros del interior de la mina.

Figura54.

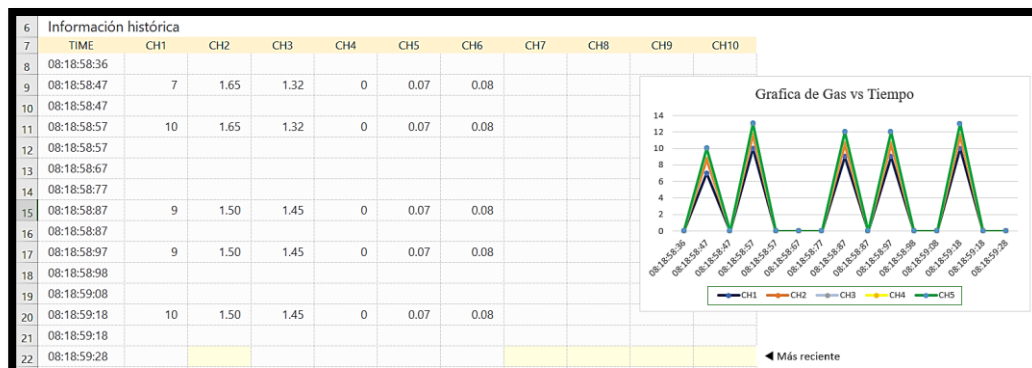
Primera prueba a 8 metros en el interior de la mina



Nota: Primeras detecciones de los sensores

Figura55.

Segunda prueba en el interior de la mina a mayor de 15 metros



Nota: Posterior detección de los sensores en el punto crítico de la mina

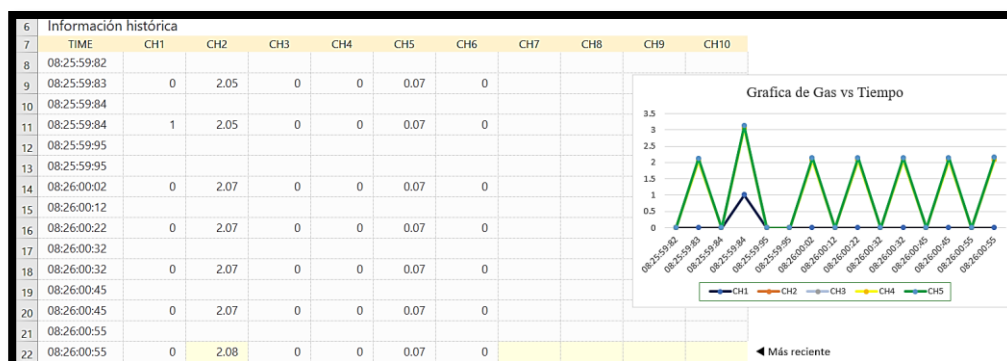
Podemos observar como a más interior de la minera los sensores empezaron a tener un cambio en la señal donde apreciamos que la calidad de aire ha empezado a disminuir y el sensor de gas metano empezó a mandar una variación donde comenzaron a aumentar la ppm.

Los siguientes sensores, no tuvieron variación en sus lecturas lo cual representa que no hay variación y ausencia de gases en las últimas lecturas.

Dado que el aumento de gas metano y la disminución de la calidad de aire estaba siendo visualizado en el monitoreo se decidió encender el extracto de gas y el bombeo de oxígeno en el interior del socavón. Se volvió a inspeccionar nuevamente la cantidad de gas en el ambiente. Posteriormente se volvió a analizar las lecturas dando como resultados en la **Figura 56** los nuevos patrones de monitoreo.

Figura56.

Tercera prueba después de la extracción de gas



Nota: Se evaluó nuevamente la cantidad de gas en el interior

Podemos observar cómo hubo una mejoría en la calidad de aire y una disminución completa.

Para un mejor detalle de sensores con los valores dados se presenta la **Tabla 15**, donde veremos el sensor y su lectura.

Tabla 15.

Leyenda de la toma de datos con los sensores

| NOMBRE DE LA LECTURA DE DATOS | NOMBRE DE LOS SENSORES | DETALLES DEL SENSOR |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------|
| CH1 | MQ4 | Gas metano |
| CH2 | MQ135 | Calidad de aire |
| CH3 | MQ2 | Gas inflamable y humo |
| CH4 | MICS 68-14 | CO |
| CH5 | | NH3 |
| CH6 | | NO2 |

Nota: Cuadro de leyenda de los sensores con el gas a analizar

/-La **Tabla 15** muestra a la interpretación de los datos del Excel en donde la primera columna mostramos la lectura, en la segunda el nombre de los sensores en cada lectura y por último en la tercera columna tenemos el tipo de gas que se analizó.

4.8. Datos del sensor Altair usado en mina

Se realizó la detección con el modelo Altair 4XR MSA usado en la mina, visto en la **Figura 57** y los datos que obtuvieron en la **Figura 58** para realizar la comparación de ambos resultados y analizar cuanto difieren las mediciones entre ambos sensores.

Figura57.

Modelo Altair 4XR MSA



Nota: Detector de gases Altair usado en la mina

Figura58.

Datos obtenidos del sensor dentro de mina



Nota: Detección de los gases del Altair

4.9.Comparación de Resultados

La comparación obtenida en la **Tabla 16 y 17** nos muestra los datos obtenidos de los sensores comparados con un detector tradicional usado en mina, analizado antes de la extracción de los gases, donde podemos comprobar las cantidades de Calidad de Aire, Metano, Gas, Co, No2 y Nh3 en la **Tabla 16 y 17** el Altair usa el porcentaje de PPM para visualizar las cantidades.

Tabla 16.

Tabla de comparación de los datos obtenidos antes de la extracción de gas

| LECTURA DE DATOS | DATOS DE LOS SENSORES | DATOS DE ALTAIR 4XR MSA |
|------------------|-----------------------|-------------------------|
| Metano (ch4) | 3% | 0% |
| Calidad de aire | 19% | 20.8% |
| Gas inflamable | 0.92% | 0% |
| Co | 0% | 0% |
| Nh3 | 0.07 % | N. A |
| No2 | 0.08% | 0% |

Nota: Cuadro comparativo de los sensores con el Altair

La **Tabla 17** nos muestra los datos obtenidos de los sensores una vez extraído y bombeado oxígeno en el interior de la minera con datos aproximados al detector Altair

Tabla 17.

Tabla de comparación de los datos obtenidos despues de la extracción de gas

| LECTURA DE DATOS | DATOS DE LOS SENSORES | DATOS DE ALTAIR 4XR MSA |
|------------------|-----------------------|-------------------------|
| Metano (ch4) | 0% | 0% |
| Calidad de aire | 20.7% | 20.8% |
| Gas inflamable | 0% | 0% |
| Co | 0% | 0% |
| Nh3 | 0.07 % | N. A |
| No2 | 0% | 0% |

Nota: Cuadro comparativo de los sensores con el Altair

Usaremos la **Tabla 18** con los datos del Decreto Supremo N° 023-2017-EM — Modifica el Decreto Supremo N° 024-2016-EM, fen Minería. DecretoSupremoN°023-(2017)-EM, (2016 - 2017) y Safety Instruments (SafetyInstruments)

Tabla 18.

Porcentajes de Gases en la atmósfera

| GASES | PORCENTAJE DE PELIGROSIDAD |
|-----------------|---|
| Metano (ch4) | 0% a 5% Pobre 5% a 10 % Explosivo 10% a 100% Rico |
| Calidad de aire | Normal 20.9% Deficiente < 18% Enriquecido 23% < |
| Gas inflamable | < 5% |
| Co | < 5% |
| Nh3 | < 25 ppm |
| No2 | < 1% |

Nota: Cuadro de permisibilidad de los gases Datos obtenidos de DecretoSupremoN°023-(2017)-EM, (2016 - 2017), (SafetyInstruments).

4.10. Resultados del Proyecto

El proyecto cumplió con la expectativa de poder ingresar dentro de mina, y tomar los datos a una profundidad de casi 15 m, hasta perder la señal. La interfaz con la obtención de datos en Excel se mantuvo en todo el recorrido.

La cámara brindó imágenes en tiempo real hasta los 10 metros antes de perder completamente la señal.

La estructura mecánica aguantó las condiciones dentro de mina sin sufrir deformaciones o daños, al igual que la batería tuvo un tiempo estimado de 12 minutos inspeccionando, transmitiendo las señales y moviendo al robot.

Haciendo la comparación de la **Tabla 16, 17 y 18**. Primeramente apreciamos que los valores de la **Tabla 16 y Tabla 17** en los sensores del robot y el Altair fueron que se asemejan bastante, solo con pequeñas variaciones de uno y otro. Regresando a la **Tabla 18** los valores estuvieron un poco más alto que el límite normal permitido por lo que se precisó encender los extractores y suministrar oxígeno en el interior.

4.11. Costos del desarrollo del Diseño y Construcción

Se describe en las siguientes **Tablas (19, 20, 21, 22)** los componentes y gastos generales usados en todo el proyecto, detallando la forma de adquisición y el costo. La **Tabla 22** costo total.

Tabla 19.

Costo para la placa electrónica

| Recurso | Descripción | Fuente | Cantidad | Precio | Monto s/ |
|------------------------------|-----------------------------|---------|----------|--------|------------------|
| Placa Electrónica de Control | LEDs | Tienda | 5 | 4 | 20 |
| | Pulsadores | Tienda | 1 | 3 | 3 |
| | Atmega 2560 | Tienda | 1 | 85 | 85 |
| | Cables | Tienda | 4 | 3 | 12 |
| | Estaño | Tienda | 1 | 2 | 2 |
| | Borneras | Tienda | 3 | 4 | 8 |
| | Resistencias 220 | Tienda | 10 | 0.2 | 2 |
| | Regulador 3.3v | Tienda | 1 | 2 | 2 |
| | Regulador 5v 7805 | Tienda | 1 | 2 | 2 |
| | Espadines Macho | Tienda | 2 | 1 | 2 |
| | Espadines Hembra | Tienda | 2 | 1 | 2 |
| | Módulo NRF24L01 2.4 GHZ | Tienda | 1 | 10 | 10 |
| | Batería LI On 3.7V 3000 MAH | Tienda | 2 | 65 | 130 |
| | Condensador de 10uf | Tienda | 2 | 1 | 2 |
| | regulador Step dow | Tienda | 1 | 30 | 30 |
| | Placa -china | Empresa | 1 | 15 | 15 |
| | Cable usb - interfaz | Tienda | 1 | 15 | 15 |
| SUBTOTAL | | | | | S/ 342,00 |

Nota: Lista de costos para el Control

La **Tabla 19** nos da la descripción de cada elemento usado para la placa de electrónica de control, cantidades, precio de cada elemento, el monto total de cada elemento y la suma para un Subtotal

Tabla 20.

Costo para la Estructura

| Recurso | Descripción | Fuente | Cantidad | Precio | Monto s/ |
|-------------------|--------------------------|---------|----------|--------|----------|
| Estructura | Pernos 5mm x2" 1/2 | Tienda | 8 | 1 | 8 |
| | Pernos 3mm x 1" | Tienda | 4 | 0.5 | 2 |
| | Tuercas para Pernos 1/2" | Tienda | 8 | 0.1 | 0.8 |
| | Tuercas para Pernos 1" | Tienda | 4 | 0.1 | 0.4 |
| | Impresión 3D | Empresa | 1 | 350 | 350 |
| | Motor Buehler 12 V | Tienda | 4 | 100 | 400 |
| | Acople | Tienda | 100 | 1 | 100 |
| | Cámara | Tienda | 113.50 | 1 | 113.50 |
| | Llantas (16cm) | Tienda | 45 | 4 | 180 |
| | SUBTOTAL | | | | |

Nota: Lista de costos para la estructura

La **Tabla 20** nos da la descripción de cada elemento en la Estructura del robot de control, cantidades, precio de cada elemento, el monto total de cada elemento y la suma para un Subtotal

Tabla 21.

Costo para la placa electrónica.

| Recurso | Descripción | Fuente | Cantidad | Precio | Monto s/ |
|-----------------------|--------------------|--------|----------|--------|----------|
| Módulo Sensado | Arduino Uno | Tienda | 1 | 18 | 18 |
| | Regulador 7805 5V | Tienda | 1 | 1 | 1 |
| | Placa perforada | Tienda | 1 | 1 | 1 |
| | sensor MQ-135 CO2 | Tienda | 1 | 15 | 15 |
| | Sensor MQ_2 | Tienda | 1 | 15 | 15 |
| | Sensor MQ_4 | Tienda | 1 | 15 | 15 |
| | Sensor MICS_6814 | Tienda | 1 | 72 | 72 |
| | Batería LI ON 3.7V | Tienda | 2 | 65 | 130 |
| | Módulo NRF24L01 | Tienda | 1 | 22 | 22 |
| | SUBTOTAL | | | | |

Nota: Lista de costos de la placa electronica

La **Tabla 21** nos da la descripción de cada elemento usado para la placa de electrónica de control, cantidades, precio de cada elemento, el monto total de cada elemento y la suma para un Subtotal

Tabla 22.

Costo para la placa electrónica.

| -Recurso | Descripción | Fuente | Cantidad | Precio | Monto s/ |
|--------------------------------|----------------------------|--------|----------|--------|-----------------|
| -/+ Mando de Control | Módulo NRF24L01 Receptor | Tienda | 1 | 22 | 22 |
| | Arduino Uno | Tienda | 1 | 50 | 50 |
| | joystick Arduino | Tienda | 1 | 8 | 8 |
| | Pulsadores | Tienda | 5 | 1 | 5 |
| | resistencia de 1k Ω | Tienda | 5 | 0.1 | 0.5 |
| SUBTOTAL | | | | | S/ 85,50 |

Nota: Costos de mando de control

La **Tabla 22** nos da la descripción de cada elemento usado para el módulo de censado de control, cantidades, precio de cada elemento, el monto total de cada elemento y la suma para un Subtotal

Tabla 23.

Costo Total del Robot.

| Recurso | Monto s/ |
|-------------------------------------|--------------------|
| Placa Electrónica de Control | 342 |
| Estructura | 1154 |
| Módulo Sensado | 135 |
| Mando De Control | 85 |
| Total | S/ 1.716,00 |

La **Tabla 23** nos da la suma de todos los Montos subtotales de las **Tablas 19, 20, 21, 22** y nos brinda el Costo total del robot.

CONCLUSIONES

Primera

Se diseñó y construyó un sistema robótico 4WD para la detección de gases CO, CO₂, NH₃, NO₂, CH₄ y Calidad de aire presentes en la mina, así como su interfaz de usuario bidireccional para el envío y recepción de datos entre el mando de control remoto y el robot. Todos los datos son supervisados en la pantalla del computador.

Segunda

Como se logró visualizar en la **Tabla 15** los resultados en las pruebas fueron menores al límite permitido en mina para laborar, obtenidos en tiempo real, igual se elaboró el proceso para extraer los gases y se comprobaron los datos con la **Tabla 17** para el inicio de las operaciones. Estos datos se obtuvieron en cada punto de estacionamiento del robot y observando las variaciones del gráfico se analizó donde se encuentra el mayor punto de concentración de gases mientras más se adentraba a los puntos indicados.

Tercera

Se comprobó la potencia administrada de todos los motores en las llantas de 16cm logran subir piedras de 3cm a 4 cm de altura. Aun con el peso de la estructura en total de 383.76 gr-cm incluyendo sus componentes.

Cuarta

La visualización dentro de la mina en vivo fue eficiente gracias a la cámara instalada en el robot, se tuvo pérdidas de señal mientras el robot se adentraba más hasta perder la visualización completamente.

Quinta

Para el diseño mecánico de la estructura del robot se utilizó la metodología de diseño NORMA VDI 2221 que permitió la elaboración de esta investigación.

Sexta

En los resultados del análisis de esfuerzo se logró apreciar los puntos donde el robot sufriría más deformaciones con el cual se pudo mejorar el diseño y poder reforzar esas áreas.



RECOMENDACIONES

Primera

Como una sugerencia a la investigación para movilizar el robot en terrenos más complejos (rocosos o escalonados) se puede optar por acoplar motores con mayor torque a los para desplazamientos en terrenos rocosos o escalonados.

Segunda

Como una mejora a futuros proyectos donde el entorno sea más extremo se sugiere adquirir una cámara con un ip mayor al 68 para una protección extra al polvo, la humedad y los golpes.

Tercera

Una recomendación para extender aún más el rango de la señal en las cámaras wifi para evitar las pérdidas en periodos más extensos de terreno es utilizar un amplificador de señal wifi dentro de la mina así la cámara podría tener un mayor rango de señal.

Cuarta

Se puede cambiar los materiales del diseño físico del robot dependiendo del terreno donde sea usado y las condiciones ambientales que se enfrente, donde es posible optar por materiales con una mayor resistencia, pero siempre asegurándonos de no aumentar mucho el peso para disminuir la exigencia de los motores, como sugerencia pueden utilizar materiales como fibra de carbono, aluminio o policarbonato, para condiciones más críticas.

Quinta

Si se cambia los motores por unos con mayor torque para terrenos más complejos, como una recomendación para mayor fidelidad de la transmisión entre los acoples del motor y los soportes de la llanta evitando que no sufran más, es utilizando materiales con mayores resistentes como madera o aluminio para aguantar obstáculos mayores.

Sexta

Para futuros trabajos de investigación se pretende incorporar sensores de mayor sensibilidad en el robot lo cual permitirán mayor precisión en los datos al momento de adentrarse más en la mina, esto no alterara la formulación del análisis lo cual tendría solo la variación en el eje Y de los parámetros captados. También pudiendo implementar el uso de un control de trayectorias y redes neuronales dando al robot una autonomía pudiendo regresar en caso pierda su señal.

Séptima

Para trabajos donde se requiera que el robot este mayores tiempos detectando los gases del terreno en el interior de la mina, se pide contar con baterías de repuesto o con mayor carga revisando siempre el peso extra en el robot, no obstante no se sugiere usar cargas con paneles solares instalados en el vehículo dado que solo aumentara el peso de él y no será efectivas para el trabajo interno, se requerirán paneles solares mayormente para trabajos en campo abierto y para ahorro de energía en la cargas del robot fuera del socavón

REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA

Huamaní Díaz, F. V. (2014). *VDI2221*.

- Acosta, A. K. (2017). *Explotation and search of toxic gases in underground mining environments using autonomous robotics technology based on SLAM algorithm and navigation*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Obtenido de <https://acreditacion.uni.edu.pe/wp-content/uploads/2017/05/Exploration-and-Search-of-Toxic-Gases-in-Underground-Mining-Environments-using-Autonomous-Robotics-Technology-Based-on-SLAM-Algorithm-and-Navigation.pdf>
- Arduino, A. (22 de Febrero de 2023). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/ide/>
- Barrientos Sotelo, V. R., García Sánchez, J. R., & Silva Ortigoza, R. (2007). *Robots Móviles: Evolución y Estado del Arte*. Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, Mexico. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4026/402640448003.pdf>
- Bermúdez, G. (2002). ROBOTS MÓVILES. TEORIA, APLICACIONES Y EXPERIENCIAS. *T E C N U R A*, 12. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/229164924.pdf>
- Bruce, L., & Archer. (s.f.). *Manual de Diseño Industrial*.
- Bush, S. (5 de Noviembre de 2022). *Electronics Weekly.com*. Obtenido de <https://www.electronicsworld.com/news/products/bus-systems-sbcs/arduino-announced-fpga-board-new-atmega-uno-wi-fi-2018-05/>

- Cabrera Flor, A. P., & Delgado Salamea, H. M. (2014). *Diseño y Construcción de un Robot para Mapeo y Exploración de Minas Subterráneas*. Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- Cardenas Verdugo, M. A. (2011). *Diseño, Construcción y Control de un Robot Hexapodo*. Ciudad Universitaria, Mexico.
- Cee, Y. (05 de Junio de 2014). *AliExpress*. Obtenido de <https://es.aliexpress.com/i/32950780030.html?gatewayAdapt=glo2esp>
- Chayot. (2022). *Diario La Chayota*. Obtenido de <https://www.diariolachayota.com/cursos-de-solidworks-gratis/>
- CNX, S. (2023). *SOFTWARE CNX – NOTICIAS DE SISTEMAS INTEGRADOS*. Obtenido de <https://www.cnx-software.com/2020/03/24/know-the-differences-between-raspberry-pi-arduino-and-esp8266-esp32/>
- Cotera Berdugo, M. (2017). *Simulación e Implementación de una Configuración de Robot Hexápodo*. Bogota, Colombia. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16120/CoteraBerdugoMateo2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Cotera Berdugo, M. (2017). *Simulación e Implementación de una Configuración de Robot Hexápodo*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16120/CoteraBerdugoMateo2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Cross, N., Elliott, D., & Roy, R. (1978). *Man-Made Futures*.

DecretoSupremoN°023-(2017)-EM. (2016 - 2017). *Decreto Supremo N° 023-2017-EM — Modifica el Decreto Supremo N° 024-2016-EM, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.* Perú. Obtenido de https://minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/LEGISLACION/2016/RSSO_2017.pdf

Didacticos, R. (2022). *Robots Argentina Didacticos.* Obtenido de <http://robots-argentina.com.ar/didactica/arduino-comunicacion-inalambrica-con-nrf24l01/>

eBay. (2022). *tiendamania.* Obtenido de <https://tiendamia.com/ec/e-product?ebay=v1%7C271651526808%7C0&pName=Buehler-12V-500-RPM-Heavy-Duty>

eLearning, a. S. (5 de Noviembre de 2022). *adr_Formacion Soluciones eLearning.* Obtenido de https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/_que_es_solidworks_.html

Electronic, M. (2018). *MV Electronic.* Obtenido de <https://mvelectronica.com/producto/puente-h-circuito-integrado-l298n-2a-controla-2-motores-dc-o-un-motor-a-pasos>

ELECTRONICS, H. (s.f.). *HANWEI ELECTRONICS CO, LTD.* Obtenido de <http://www.hwsensor.com>

ELECTRONICS, H. (s.f.). *HANWEI ELECTRONICS CO.,LTD.* Obtenido de TECHNICAL DATA: <http://www.hwsensor.com>

ELECTRONICS, H. (s.f.). *TECHNICAL DATA.* Obtenido de <http://www.hwsensor.com>

Electronics, I. (26 de Julio de 2021). *IJJ Electronics Official Store*. Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/1005003263294051.html>

Fernando Alonso, L. M. (2019). *Sistema automático de monitoreo de mercurio en tiempo real en aguas aledañas a explotaciones mineras y petroleras usando plataforma IoT*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

FREEPIK. (2023). *FREEPIK*. Obtenido de <https://www.freepik.es/fotos-vectores-gratis/impresora-3d>

Gómez, E., martinez, S., & Capuz Rizo, S. (1997). *El Proyecto y su Direccion y Gestion*.

Gutiérrez Arias, G. A., Tocarruncho, J., Ojeda, J., & Castellanos, D. (2014). Robot Multidetector de Gases para Minería. *Ingenio Magno*, 4, 9. Obtenido de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/756>

Helguero Velásquez, H. L., & Medinaceli Tórrez, R. (18 de Noviembre de 2020). Robot Minero: Sistema Detector de Gases utilizando Sensores en Tiempo Real MIN – SIS 1.0 SDG-STR. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 5, 5. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052013000100001>

Helguero, H., & Medinaceli, R. (2020). Robot Minero: Sistema Detector de Gases utilizando Sensores en Tiempo Real MIN – SIS 1.0 SDG-STR. *Revista de medio ambiente y minería*. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522020000100003

- HETPRO. (2009). Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-gas-mq2/>
- Iberotecno. (11 de Noviembre de 2022). *Iberotecno*. Obtenido de <https://github.com/iberotecno/CO2-Wifi-Sensor>
- IC. (2023). *IC components Store*. Obtenido de AliExpress: <https://es.aliexpress.com/item/1005003229015975.html>
- IIVVERR. (2022). *Amazon*. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/IIVVERR-H-bridge-M%C3%B3dulo-control-controlador/dp/B07ZPZ327M>
- Inc., M. T. (2023). *MICROCHIP*. Obtenido de <https://www.microchip.com/en-us/product/ATMEGA2560#>
- Industry, D. (2023). *Direct Industry by Virtual Group*. Obtenido de <https://trends.directindustry.es/project-152876.html>
- J. Ortiz , F., Pastor Franco, J. A., Alvarez Torres, B., & Sanchez, P. (2014). Adaptación de Arquitecturas Software de Control de Robots en Tiempo Real a Plataformas Hardware Genéricas, Parametrizables y Reconfigurables. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/36720743_Adaptacion_de_Arquitecturas_Software_de_Control_de_Robots_en_Tiempo_Real_a_Plataformas_Hardware_Genericas_Parametrizables_y_Reconfigurables
- John.C., J. (1992). *Design Methods*.
- Jones, J. C. (s.f.).

LABOTEC. (2023). *LABOTEC hardware&software*. Obtenido de <https://www.labotecperu.com/shop/product/modulo-nrf24l01-con-antena-2-4-ghz-352#attr=>

LICONA ALVITER, J. A. (2019). *DISEÑO Y DESARROLLO DE UN ROBOT MÓVIL A BAJO COSTO PARA NIÑOS: ECATEBOT*. ECATEPEC DE MORELOS,, ESTADO DE MÉXICO, Mexico. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/105323/Tesis%20Juan%20Alberto%20Licona%20Alviter%20UAEM%20ver%2002.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

MECATRONICA. (2023). *MECATRONICA ROBOTICA Y ELECTRONICA*. Obtenido de <https://megatronica.cc/producto/sensor-de-humo-y-gas-mq4-gas-natural-y-gas-metano/>

MICROELECTRONICS, S. (2000). *DATASHEET L298*. Obtenido de <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/22440/STMICROELECTRONICS/L298N.html>

Morris , A. (1962). *Introduction to Design*.

Muñoz Martines, C. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL BASADO EN TECNOLOGÍAS DE TELEOPERACIÓN OPEN-SOURCE PARA LA TOMA DE ACCIONES DESEGURIDAD PREVENTIVAS E INMEDIATAS EN CASOSDE ACCIDENTES EN MINAS SUBTERRÁNEAS*. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

NAYLAMP. (2022). *NAYLAMP MECATRONICS*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/71-sensor-mq-2-gas-glp-gnv.html>

NAYLAMP. (2023). *NAYLAMP MECHATRONICS*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/73-sensor-mq-135-gas-calidad-aire.html>

NAYLAMP. (2023). *NAYLAMP MECHATRONICS*. Obtenido de https://naylampmechatronics.com/blog/16_tutorial-basico-nrf24l01-con-arduino.html

Newell, A., & Freeman, P. (1971). *Un modelo de razonamiento funcional en diseño*. International Joint. Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Model-for-Functional-Reasoning-in-Design-Freeman-Newell/eef458bd7a6284c18a72d1eeae48a707fe743dd>

NORDIC. (2006). *DATASHEET, NRF24L01*. Obtenido de NORDIC SEMICONDUCTOR: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1243924/ETC1/NRF24L01.html>

Olachea, O. (2013). *7 pasos para el proceso de un buen diseño*. Obtenido de <https://www.paredro.com/7-pasos-para-el-proceso-de-un-buen-diseno/>

Oliden Martínez, J. (2015). Robot Detector de Gases. *RPP*. Obtenido de <https://rpp.pe/ciencia/mas-ciencia/ingenieros-de-la-uni-crean-robot-que-permitira-evitar-muerte-de-mineros-noticia-977792>

PAHL, G., & BEITZ, W. (1988). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Londres:
The Design Council.

Palma Vidal, D. A. (2019). *Prototipo robótico de inspección y adquisición de datos*.
Universidad Andres Bello, Santiago de Chile, Chile.

Papanek, V. (s.f.). *Manual de Diseño Industrial*.

Pérez Porto, J., & Merino, M. (29 de Julio de 2022). *Definición.DE*. Obtenido de
Radiofrecuencia:
<https://definicion.de/radiofrecuencia/#:~:text=La%20radiofrecuencia%2C%20en%20definitiva%2C%20es,FM%2C%20por%20citar%20algunas%20posibilidades.>

Pérez, Z. (2015). *Implementacion de algoritmos de determinacion de Rutas para Robotino de Festo*. Quito. Obtenido de <file:///D:/descargas/CD-6369.pdf>

QFD (Quality Function Deployment)
<http://www.cge.es/portalcge/tecnologia/innovacion/4113qfd.aspx>. (s.f.).

Robots Didácticos. (2019). *Arduino: Comunicación inalámbrica con NRF24L01*. Obtenido de <https://robots-argentina.com.ar/didactica/arduino-comunicacion-inalambrica-con-nrf24l01/>

Rodriguez M, G. (1952). *Manual de Diseño Industrial* (3a edicion ed.). impreso en México
- Printed in Mexico. Obtenido de
<https://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/16ManualDI.pdf>

Roozenburg, N., & Eekels, J. (1991). *Structure and Methods*.

Roth Deubel, A. N. (2008). *Políticas públicas: formulación, implementación y evaluación*.
Bogota.

Sachin M. Ledange, S. S. (2016). *Robot based Wireless Monitoring and safety for
Underground Coal Mines using Zigbee*. Maharashtra, India.

SafetyInstruments. (s.f.). *MONITOREO DE GASES*. SAFETY INSTRUMENTS. Obtenido
de
https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/presentacion_multidetectores_ibrid-mx6.pdf

SANCHEZ RIOS, M., ARIAS, K., BETANCOURT Cortez, F. J., LEGUIZAMÓN Sierra,
G., GARCÍA, R. G., & MENDOZA Patiño, D. (2018). Estudio de las actividades
relevantes en el diseño de productos. Modelo VDI 2221. *ESPACIOSS*. ISSN 0798
1015, 13. Obtenido de
<https://www.revistaespacios.com/a18v39n09/a18v39n09p22.pdf>

SanpEDA. (2015). *SanpEDA*. Obtenido de Exporsupport:
[https://export.rsdelivers.com/es/product/microchip/atxmega64a3-
au/microcontrolador-microchip-atxmega64a3-au-nucleo-4/1773507](https://export.rsdelivers.com/es/product/microchip/atxmega64a3-au/microcontrolador-microchip-atxmega64a3-au-nucleo-4/1773507)

SAS, S. E. (s.f.). *SDielect*. (M. L. MOTORES, Productor) Obtenido de
<https://ssdielect.com/arduino-y-compatibles/1032-md-l298n.html>

Seisa. (2023). *Mercado Libre*. Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-
609366073-mini-camara-espia-inalambrica-wifi-full-hd-1080-base-
_JM?variation=174298492469#reco_item_pos=0&reco_backend=pads-retrieval-](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-609366073-mini-camara-espia-inalambrica-wifi-full-hd-1080-base-_JM?variation=174298492469#reco_item_pos=0&reco_backend=pads-retrieval-)

model&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-pads-
up&reco_id=43d5af8e-3de9-

SEISA. (2023). *PROMART*. Obtenido de Cámaras espías: <https://www.promart.pe/mini-camara-espia-1080-seisa-ipc-na9-1000453366/p>

SENSORTECH, S. (s.f.). *SGX SENSORTECH*. Obtenido de Mouser Electronics:
www.sgxsensortech.com

Serrano Lledó, R. (2017). *Introducción a la metodología del diseño industria*. Obtenido de <https://www.studocu.com/co/document/politecnico-grancolombiano/procesos-industriales/04-introduccion-a-la-metodologia-del-diseno-industrial-autor-raquel-serrano-lledo/24850645>

SOLUCIONES, J. (5 de Noviembre de 2022). *JMG SOLUCIONES*. Obtenido de <https://www.jmgsoluciones.com/blog/que-es-la-impresion-3d>

Sumit Kumar, S. (2015). *Real Time Monitoring System for Mine Safety using Wireless Sensor Network (Multi-Gas Detector)*. Department of Mining Engineering National Institute of Technology, ROURKELA, India.

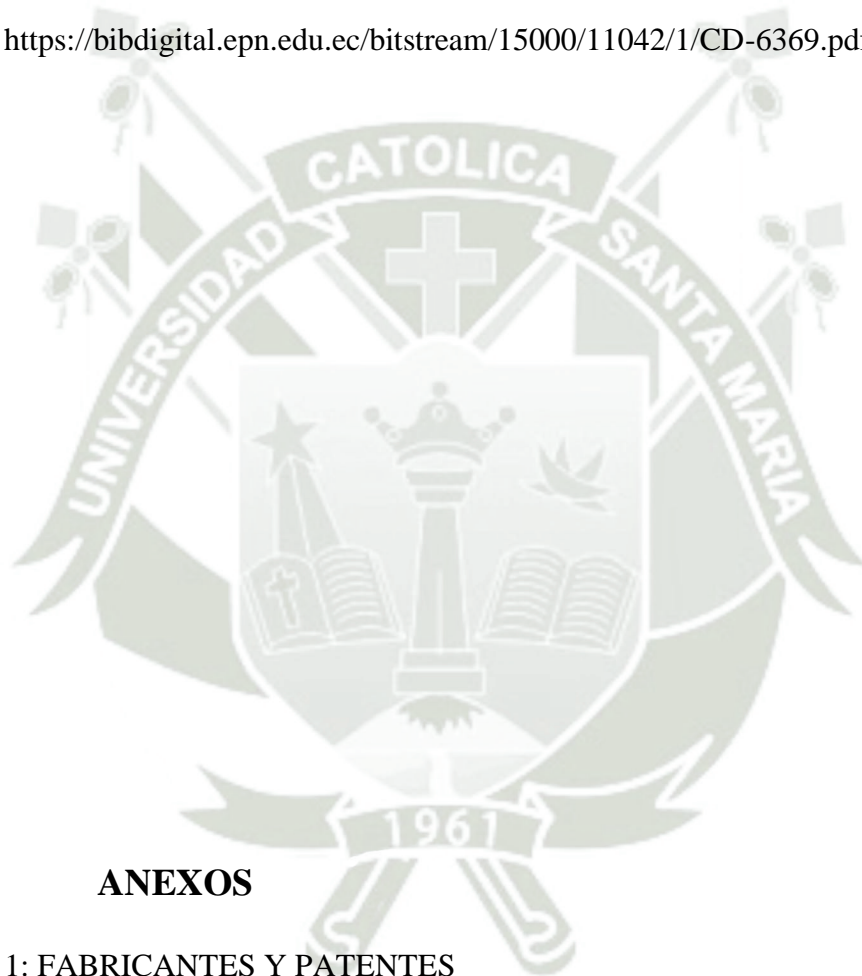
Tsukayama Lozano, H. (2019). *Diseño Y Simulación de un Vehículo Teleoperado para Medición de Gases Tóxicos en Espacios Confinados en Gran Minería en la Ciudad de Arequipa*. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

ULRICH, K., & EPPINGER, S. D. (2004). *Diseño y Desarrollo de Productos*.

Verano. (2005). *Robotica*.

Vistrónica. (2022). *Vistrónica*. Obtenido de <https://www.vistronica.com/componentes-activos/microcontroladores-/microcontrolador-atmega2560-16u-smd-tqfp-100-detail.html>

Zambrano Perez, V. D. (2015). *Implementación de algoritmo de determinación de rutas para el Robotino de Festo*. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11042/1/CD-6369.pdf>



ANEXOS

Anexo 1: FABRICANTES Y PATENTES

Anexo 2: CODIGO DE ARDUINO

Anexo 3: NORMA VDI 2221

Anexo 4: PLANOS ELECTRONICOS

Anexo 5: PLANOS DE DISEÑO DEL ROBOT 4WD

Anexo 6: DATASHEET DE SENSORES



Anexo 1: FABRICANTES Y PATENTES



INFORMACION OBTENIDA DE FABRICANTES

JSumo (s/ Electrónica) es uno de los fabricantes de productos exclusivos para la robótica de aficionados, Kits de robots que pueden ser usados para aprender, no son fabricados de forma industrial.

Robot Todo Terreno de Alta Velocidad ATLAS ofrece un cuerpo robusto y una construcción ligera de panel de aluminio.

El Robot de 4 ruedas es una plataforma versátil para proyectos de robots exploradores. El robot 4WD tiene una alta movilidad con motores de 4 engranajes directamente conectados a la rueda.

La versión de alta velocidad de 12 V, modelo de 500 RPM, proporciona aproximadamente 100 cm de segunda velocidad. Controlado por el sistema de conducción del tanque. (El motor 4 está en paralelo como canal izquierdo y derecho 2-2). Su costo final es de €449,44

4 x Piezas de cuerpo de robot de terreno de 2 mm recubiertas de negro y metal grueso cortado con láser
1 x Cubierta transparente Lexan cortada con láser

- 4 x Cubiertas de luz delantera y trasera de Lexan transparente cortadas con láser
- 4 x Motores Titan 500 RPM de alta potencia
- 4 x Ruedas semi-neumáticas (130 x 59 mm)
- 4 x Buje de rueda hexagonal de 12 mm
- 30 x Tornillo de cabeza plana Philips M3x6mm
- 52 x Pernos hexagonales M5x8mm

Figura59.

Robot Atlas



Nota.: Recuperado de JSumo

Robot Dagu Wild Thumper 4x4 Es un potente y robusto chasis de metal con tracción 4x4 y grandes ruedas. Aguantará casi cualquier terreno gracias a sus grandes ruedas de taco de 120mm de diámetro y su suspensión individual pasiva en cada rueda.

Es un chasis extremadamente robusto que dispone de una superficie agujereada en la parte superior y que hace muy cómodo atornillar todo tipo de accesorios y electrónica. Dispone de 4 motores individuales en cada rueda con reductora de 75:1 que alimentado a 7.4V le proporciona una velocidad de cerca de 2Km/h y una fuerza de empuje de 11kg/cm! Solo el chasis tiene un costo de S/ 1830.75

Características:

- Color: Negro
- Tamaño: 280 × 300 × 130 mm
- Peso: 1.9 kg
- Altura de suspensión: 60 mm (con carga)
- Voltaje de motores: 2 V a 7.5 V
- Corriente a 7.2 V: 6.6 A por motor (con carga)
- Corriente reposo a 7.2 V: 420 mA por motor
- Velocidad a 7.2 V:
- 160 RPM para reductora 75:1
- Fuerza a 7.2 V:
- 11 kg-cm (160 oz-in) por motor para reductora 75:1

Figura60.

Robot Dagu Wild Thumper



Nota: Recuperado de Brico Geek



Anexo 2: CODIGO ARDUINO

MANDO

//TRANSMISOR

//MODO DE INICIO MASTER

// MANDO DE CONTROL REMOTOR

```
//RF24
////////////////////////////////////

//LIBRERÍA DE COMUNICACIÓN RF24

#include <SPI.h>

#include <nRF24L01.h>

#include <RF24.h>

//DECLARAMOS PINES DE CSN Y CE

#define CE_PIN 8

#define CSN_PIN 9

//MASTER ADDRESS (TRANSMIT)

byte address_master[6] = "18052";

//SLAVE ADDRESS (RECEIVER)

byte address_slave[6] = "16072";

//CREAMOS OBJETO RF24 COM CON LOS PINES CE Y CSN

RF24 COM(CE_PIN, CSN_PIN);

//VERIFICAR ESTADO DE RF24

bool tx_ok = false;

bool rx_ok = false;
```

```

//ARRAY DE DATOS PARA ENVIARLOS

//VALOR DE PULSADORES PARA MOVER EL VEHÍCULO Y CAMBIO
MASTER/SLAVE

float transmitted_data[5];

//ARRAY DE DATOS PARA RECIBIRLOS Y GUARDARLOS
float received_data[4];
float received_values[4] = {0, 0, 0, 0};
unsigned long ptime_receive = 0;
#define MAX_TIME_TO_RECEIVE 10 // SEGUNDOS
unsigned long pulse_receive = MAX_TIME_TO_RECEIVE * 1000;

//MILISEGUNDOS

//ESTADO DE RF24
bool transmitter = true;

////////////////////////////////////

// BOTONES DEL MANDO
////////////////////////////////////

int botones[5] = {2, 3, 4, 5, 6}; // PINES DE CADA PULSADOR
int valores_digitales[5] = {0, 0, 0, 0, 0};

#define max_buttons 5

/*

[2] (FW)
[3] (TL)    [4] (TR)  [6] (MASTER/SLAVE)

```

[5] (BW)

```
*/  
  
////////////////////////////////////  
  
void setup()  
{  
  // INICIALIZAR MONITOR SERIAL  
  Serial.begin(115200);  
  // INICIALIZAR RF  
  COM.begin();  
  //ABRIMOS UN CANAL DE ESCRITURA PARA TRANSMITIR DATOS  
  COM.openWritingPipe(address_master);  
  //ABRIMOS UN CANAL DE LECTURA PARA RECIBIR DATOS  
  COM.openReadingPipe(1, address_slave);  
  COM.stopListening();  
  
  // INICIALIZAR BOTONES (PULSADORES)  
  for (int i = 0; i < max_buttons; i++)  
  {  
    pinMode(botones[i], INPUT);  
  }  
  
  //TIEMPOS  
  ptime_receive = millis();  
}
```

```

void loop()
{
    // LEER VALORES DE LOS PULSADORES

    for (int i = 0; i < max_buttons; i++)
    {
        valores_digitales[i] = digitalRead(botones[i]);
    }

    //DATOS A ENVIAR
    transmitted_data[0] = valores_digitales[0];
    transmitted_data[1] = valores_digitales[1];
    transmitted_data[2] = valores_digitales[2];
    transmitted_data[3] = valores_digitales[3];
    transmitted_data[4] = valores_digitales[4];

    //MASTER MODE

    if (transmitter) {

        tx_ok = COM.write(transmitted_data, sizeof(transmitted_data));

        //DEBUGGING - MOSTRAR DATOS ENVIADOS (MASTER)

        //DEBUG_TRANSMITTER(tx_ok);

        //CHANGE MODE TO SLAVE

        if (valores_digitales[4] == 1 && tx_ok) {

            transmitter = false;

            tx_ok = false;
        }
    }
}

```

```

    delay(500);

    COM.startListening();
}

//TIEMPO ACTUALIZADO

ptime_receive = millis();
}

//SLAVE MODE
else {

    //RECIBIR DATOS POR UN TIEMPO ANTES DE REGRESAR AL
MODO MASTER

    if ((millis() - ptime_receive) < pulse_receive) {
        if ( COM.available() )
        {
            //LEER LOS DATOS RECIBIDOS A TRAVÉS DE LA
COMUNICACIÓN RF

            COM.read(received_data, sizeof(received_data));

            rx_ok = true;

            //RECIBIR VALORES DE SENSORES

            for (int i = 0; i < 4; i++) {

                received_values[i] = received_data[i];

            }

        }
    }
}

```

```
else
{
    rx_ok = false;
}

//DEBUG FOR RECEIVER (SLAVE)
DEBUG_RECEIVER(rx_ok);
} else {
    rx_ok = false;
    transmitter = true;
    COM.stopListening();
}
}

//ESTADO DE COMUNICACIÓN
Serial.print("STATE: ");
if (transmitter) {
    Serial.print("T, ");
    if (tx_ok) {
        Serial.println("OK");
    } else {
        Serial.println("NO");
    }
}
```

```
} else {  
    Serial.print("R, ");  
    if (rx_ok) {  
        Serial.println("OK");  
    } else {  
        Serial.println("NO");  
    }  
}  
delay(100);  
}
```

RECEPCION DE DATOS DE MANDO

```
// RECEPCION DE ENVIO DE DATOS AL MANDO
```

```
void DEBUG_RECEIVER(bool a) {  
    if (a) {  
        Serial.print("DATOS RECIBIDOS: ");  
        for (int i = 0; i < 4; i++) {  
            if (i != 3) {  
                Serial.print(received_values[i]);  
                Serial.print(" , ");  
            } else {  
                Serial.println(received_values[i]);  
            }  
        }  
    }  
}
```

```
    } else {  
        Serial.println("NO SE HA PODIDO RECIBIR LOS DATOS");  
    }  
}
```

TRANSMISOR DE DATOS

```
//TRANSMISION DE DATOS DEL MANDO  
void DEBUG_TRANSMITTER(bool a) {  
    if (a) {  
        Serial.print("DATOS ENVIADOS: ");  
        for (int i = 0; i < max_buttons; i++) {  
            if (i != max_buttons - 1) {  
                Serial.print(valores_digitales[i]);  
                Serial.print(" , ");  
            } else {  
                Serial.println(valores_digitales[i]);  
            }  
        }  
    }  
    } else {  
        Serial.println("NO SE HA PODIDO ENVIAR LOS DATOS");  
    }  
}
```

CODIGO DE AUTO

```
//RECEPTOR

//MODO DE INICIO SLAVE

// CODIGO DEL ROBOT 4WD

//LIBRERÍA DE COMUNICACIÓN RF24

#include <SPI.h>

#include <nRF24L01.h>

#include <RF24.h>

//DECLARAMOS PINES DE CSN Y CE

#define CE_PIN 7

#define CSN_PIN 6

//SLAVE ADDRESS (RECEIVER)

byte address_slave[6] = "18052";

//SLAVE ADDRESS (TRANSMIT)

byte address_master[6] = "16072";

//CREAMOS OBJETO RF24 COM CON LOS PINES CE Y CSN

RF24 COM(CE_PIN, CSN_PIN);

//VERIFICAR ESTADO DE RF24

bool tx_ok = false;
```

```
bool rx_ok = false;

//ARRAY DE DATOS PARA RECIBIRLOS Y GUARDARLOS
#define MAX_DATA_RECEIVED 5

float received_data[5];
int received_states[5] = {0, 0, 0, 0, 0};

//ARRAY DE DATOS PARA ENVIARLOS
//VALOR DE PULSADORES PARA MOVER EL VEHÍCULO Y CAMBIO
MASTER/SLAVE

float transmitted_data[4];
float sensor_values[4] = {0, 0, 0};
unsigned long ptime_transmit = 0;
#define MAX_TIME_TO_TRANSMIT 10 // SEGUNDOS
unsigned long pulse_transmit = MAX_TIME_TO_TRANSMIT * 1000;
//MILISEGUNDOS

//ESTADO DE RF24

bool transmitter = false;

// CONTROL DE MOTORES

int motorA[2] = {38, 37}; // MOTOR IZQUIERDA

int motorB[2] = {36, 35}; // MOTOR DERECHA
```

```
// SENSORES DE GAS

////////////////////////////////////

/* MQ-4 */

const int AOUTpin = 2; // the AOUT pin of the methane sensor goes into analog
pin A0 of the arduino

const int DOUTpin = 8; // the DOUT pin of the methane sensor goes into digital
pin D10 of the arduino

const int ledPin = 13; // the anode of the LED connects to digital pin D13 of the
arduino

int limit;
int value;

/* MQ-135*/

#include <MQ135.h>
#define PIN_MQ135 A0

MQ135 mq135_sensor(PIN_MQ135);

float temperature = 21.0; // Assume current temperature. Recommended to
measure with DHT22

float humidity = 25.0; // Assume current humidity. Recommended to measure
with DHT22
```

```
/* MICS6814*/  
  
#include "MICS6814.h"  
  
#define PIN_CO 3  
  
#define PIN_NO2 4  
  
#define PIN_NH3 5  
  
MICS6814 gas(PIN_CO, PIN_NO2, PIN_NH3);  
  
// TIEMPOS  
unsigned long ptime1 = 0;  
unsigned long ptime2 = 0;  
unsigned long ptime3 = 0;  
unsigned long ptime4 = 0;  
  
////////////////////////////////////  
  
void setup()  
{  
  // INICIALIZAR MONITOR SERIAL  
  Serial.begin(115200);  
  
  // INICIALIZAR RF  
  COM.begin();  
  
  //ABRIMOS UN CANAL DE LECTURA PARA RECIBIR DATOS  
  COM.openReadingPipe(1, address_slave);
```

```

COM.startListening();

//ABRIMOS UN CANAL DE ESCRITURA PARA TRANSMITIR DATOS
COM.openWritingPipe(address_master);

// DECLARAR PINES DE SALIDA PARA EL CONTROL DE LOS
MOTORES
for (int i = 0; i < 2; i++)
{
    pinMode(motorA[i], OUTPUT);
    pinMode(motorB[i], OUTPUT);
}
//TIEMPOS
ptime_transmit = millis();
}

void loop() {
    SENSOR_DATA();

    //SLAVE MODE

    if (transmitter == false) {
        if ( COM.available() )
        {
            //LEER LOS DATOS RECIBIDOS A TRAVÉS DE LA
COMUNICACIÓN RF

```

```

    COM.read(received_data, sizeof(received_data));

    rx_ok = true;
}
else
{
    rx_ok = false;
}
//DEBUG FOR RECEIVER (SLAVE)
//DEBUG_RECEIVER(rx_ok);
//CHANGE MODE TO MASTER
if (received_states[4] == 1) {
    transmitter = true;
    rx_ok = false;
    COM.stopListening();
}

//TIEMPO ACTUALIZADO
ptime_transmit = millis();
}

//MASTER MODE
else {

    //ENVIAR DATOS POR UN TIEMPO ANTES DE REGRESAR AL
MODO SLAVE

```

```

if ((millis() - ptime_transmit) < pulse_transmit) {

    //DATOS A ENVIAR

    //VALORES DE SENSORES

    transmitted_data[0] = sensor_values[0];

    transmitted_data[1] = sensor_values[1];

    transmitted_data[2] = sensor_values[2];

    transmitted_data[3] = sensor_values[3];

    //ENVIO DE DATOS POR RF

    tx_ok = COM.write(transmitted_data, sizeof(transmitted_data));

    //DEBUGGING - MOSTRAR DATOS ENVIADOS (MASTER)

    //DEBUG_TRANSMITTER(tx_ok);

} else {

    tx_ok = false;

    transmitter = false;

    COM.startListening();

}

}

//CONVERTIR A ENTEROS LOS ESTADOS RECIBIDOS

if (rx_ok) {

    for (int i = 0; i < MAX_DATA_RECEIVED; i++) {

```

```
    received_states[i] = received_data[i];
}
} else {
    for (int i = 0; i < MAX_DATA_RECEIVED; i++) {
        received_states[i] = 0;
    }
}
//MOVIMIENTO DEL VEHÍCULO
MOV(received_states);
//ESTADO DE COMUNICACIÓN
Serial.print("STATE: ");
if (transmitter) {
    Serial.print("T, ");
    if (tx_ok) {
        Serial.println("OK");
    } else {
        Serial.println("NO");
    }
} else {
    Serial.print("R, ");
    if (rx_ok) {
        Serial.println("OK");
    } else {
```

```
Serial.println("NO");  
  
}  
  
}  
  
delay(100);  
  
}
```

DEBUG DE RECEPTOR

```
//RECEPCION DE DATOS DEL AUTO  
void DEBUG_RECEIVER(bool a) {  
  if (a) {  
    Serial.print("DATOS RECIBIDOS: ");  
    for (int i = 0; i < MAX_DATA_RECEIVED; i++) {  
      if (i != MAX_DATA_RECEIVED - 1) {  
        Serial.print(received_states[i]);  
        Serial.print(" , ");  
      } else {  
        Serial.println(received_states[i]);  
      }  
    }  
  }  
  } else {  
    Serial.println("NO SE HA PODIDO RECIBIR LOS DATOS");  
  }  
}
```

DEBUG DEL TRANSMISOR

```
//TRANSMISION DE DATOS DEL AUTO

void DEBUG_TRANSMITTER(bool a) {

    if (a) {

        Serial.print("DATOS ENVIADOS: ");

        for (int i = 0; i < 3; i++) {

            if (i != 2) {

                Serial.print(transmitted_data[i]);

                Serial.print(" , ");

            } else {

                Serial.println(transmitted_data[i]);

            }

        }

    } else {

        Serial.println("NO SE HA PODIDO ENVIAR LOS DATOS");

    }

}
```

MOTORES

```
//CODIGO DE MOTORES

void MOV(int a[]) {

    if (a[0] == 1)

    {
```

```
FWO);
}
else if (a[1] == 1)
{
    TLO);
}
else if (a[2] == 1)
{
    TRO);
}
else if (a[3] == 1)
{
    BWO);
}
else
{
    STOPO);
}
}
```

```
void FWO)
{
    Serial.println("FORWARD");
}
```

```
digitalWrite(motorA[0], HIGH);  
digitalWrite(motorA[1], LOW);  
digitalWrite(motorB[0], HIGH);  
digitalWrite(motorB[1], LOW);  
}  
void BW()  
{  
  Serial.println("BACKWARD");  
  digitalWrite(motorA[0], LOW);  
  digitalWrite(motorA[1], HIGH);  
  digitalWrite(motorB[0], LOW);  
  digitalWrite(motorB[1], HIGH);  
}  
void TR()  
{  
  Serial.println("TURN RIGHT");  
  digitalWrite(motorA[0], HIGH);  
  digitalWrite(motorA[1], LOW);  
  digitalWrite(motorB[1], HIGH);  
  digitalWrite(motorB[0], LOW);  
}  
void TL()  
{
```

```

Serial.println("TURN LEFT");

digitalWrite(motorA[0], LOW);

digitalWrite(motorA[1], HIGH);

digitalWrite(motorB[0], HIGH);

digitalWrite(motorB[1], LOW);
}

void STOP()
{
  Serial.println("STOP");
  for (int i = 0; i < 2; i++)
  {
    digitalWrite(motorA[i], LOW);
    digitalWrite(motorB[i], LOW);
  }
}

```

SENSORES

```
// CODIGO DE SENSORES
```

```

void SENSOR_DATA() {

  // LECTURA DE SENSORES

  //////////////////////////////////////

  if ((millis() - ptime1) >= 100)

  {

    ptime1 = millis();

```

```

//---MQ4---

value = analogRead(AOUTpin); // reads the analog value from the methane
sensor's AOUT pin

sensor_values[0] = value/10; //ESCALA

// limit = digitalRead(DOUTpin); //reads the digital value from the methane
sensor's DOUT pin

//Serial.print("MQ4 METANO ppm : ");
//Serial.print(value); // prints the methane value
// Serial.print("Limit: ");

// Serial.print(limit); //prints the limit reached as either LOW or HIGH
(above or underneath)
}
/*if (limit == HIGH) {

digitalWrite(ledPin, HIGH); //if limit has been reached, LED turns on as
status indicator

}

else {

digitalWrite(ledPin, LOW); //if threshold not reached, LED remains off

}*/

if ((millis() - ptime2) >= 300)

{

ptime2 = millis();

//---MQ135---

```

```
float rzero = mq135_sensor.getRZero();

float correctedRZero = mq135_sensor.getCorrectedRZero(temperature,
humidity);

float resistance = mq135_sensor.getResistance();

float ppm = mq135_sensor.getPPM();

float correctedPPM = mq135_sensor.getCorrectedPPM(temperature,
humidity);

// Serial.print("MQ135 RZero: ");
// Serial.print(rzero);
// Serial.print("\t Corrected RZero: ");
// Serial.print(correctedRZero);
// Serial.print("\t Resistance: ");
// Serial.print(resistance);
// Serial.print("\t PPM: ");
// Serial.print(ppm);
// Serial.print("\t Corrected PPM: ");
// Serial.print(correctedPPM);
// Serial.println("ppm");

sensor_values[1] = 0.024*ppm; //ESCALA

//Serial.print("\t MQ135 PPM: ");
//Serial.print(ppm);
```

```
//Serial.print("");
}

if ((millis() - ptime3) >= 1000)
{
  ptime3 = millis();
  //---MQ2---
  int adc_mq = analogRead(A1);
  int ppm_1 = adc_mq / 10;
  sensor_values[2] = 0.1316*ppm_1; //ESCALA
  //Serial.print("\t MQ2 ppm GAS: ");
  //Serial.print(ppm_1);
}
if ((millis() - ptime4) >= 500)
{
  ptime4 = millis();
  //--- MICS6814
  //Serial.print("\t MICS ppm NH3: ");
  // Serial.print(gas.getResistance(CH_NH3));
  // Serial.print("/");
  // Serial.print(gas.getBaseResistance(CH_NH3));
  // Serial.print(" = ");
  // Serial.print(gas.getCurrentRatio(CH_NH3));
```

```
// Serial.print(" => ");

//sensor_values[3] = 1607;

sensor_values[3] = gas.measure(NH3); //SIN ESCALA

//Serial.print(gas.measure(NH3));

//Serial.print("ppm");

//Serial.println("");

}

//

// Serial.print("CO: ");

// Serial.print(gas.getResistance(CH_CO));

// Serial.print("/");

// Serial.print(gas.getBaseResistance(CH_CO));

// Serial.print(" = ");

// Serial.print(gas.getCurrentRatio(CH_CO));

// Serial.print(" => ");

// Serial.print(gas.measure(CO));

// Serial.println("ppm");

// delay(50);

//

// Serial.print("NO2: ");

// Serial.print(gas.getResistance(CH_NO2));

// Serial.print("/");

// Serial.print(gas.getBaseResistance(CH_NO2));
```

```
// Serial.print(" = ");  
  
// Serial.print(gas.getCurrentRatio(CH_NO2));  
  
// Serial.print(" => ");  
  
// Serial.print(gas.measure(NO2));  
  
// Serial.println("ppm");  
  
// delay(50);  
  
////////////////////////////////////  
}
```





Anexo 3: NORMA VDI 2221

VDI 2221

La VDI 2221 como indica Huamaní Díaz (2014) es una variación de la famosa 2222, esta analiza y entiende el problema a profundidad, es especialmente útil para la realización de productos, pero principalmente para el caso de rediseños o mejoras de productos.

Se fracciona en 7 etapas generales.

1. Especificaciones

- Clarificar y definir la tarea

2. Estructura de funciones

- Definir funciones
- Definir estructuras

3. Búsqueda de soluciones

- Buscar principales soluciones y combinaciones

4. Estructura de modelo

- Decidir en módulos realizables

5. Arreglos

- Arreglos preliminares
 - Desarrollar arreglos de módulos claves □
 - Arreglos definitivos
 - Completar arreglo general

6. Documentación

- Preparar instrucciones de operación y producción

7. Realización

- Realización del producto

Karl T. Ulrich

El método de Karl T. ULRICH & EPPINGER (2004) abarca todos los campos que intervienen en el desarrollo de un proyecto de diseño, desde el grupo de diseñadores, hasta mercadeo y finanzas.

Para el proceso de desarrollo de producto, Ulrich emplea una metodología estructurada fundamentada en seis fases. Cada fase describe las actividades a desarrollar en los cuatro departamentos que comúnmente existen en una empresa (Mercadeo; diseño; manufactura; departamento de administración, investigación y finanzas).

Es considerado como uno de los métodos más completo y descriptivo.

1. Planeación

- Articular y definir segmentos de mercado
- Considerar arquitectura de producto
- Identificar restricciones del producto
- Finanzas, investigación y administración

Resultado: Se hace la planeación total del proyecto, y se obtiene una aprobación que precede al desarrollo del producto.

2. Desarrollo del concepto

- Identificar necesidad del cliente
- Identificar usuarios
- Identificar productos
- Desarrollo de conceptos de diseño
- Construir y probar prototipos
- Calcular costos y factibilidad de producción
- Estudiar finanzas y patentes

Resultado: Se identifican las necesidades del mercado objetivo, se generan y evalúan conceptos de productos alternativos, y se seleccionan uno o más conceptos para el desarrollo y para prueba.

3. Diseño a nivel de sistema

- Desarrollar plan para opciones de producto
- Generar arquitecturas alternativas del producto
- Identificar proveedores, establecer costos
- Análisis de fabricar contra adquirir (finanzas)

Resultado: Se define la arquitectura del producto y el desglose de este en subsistemas y componentes. Se define también el esquema de ensamble final para el sistema de producción. Da como resultado una distribución geométrica del producto, una especificación funcional de cada subsistema y un diagrama de flujo de proceso preliminar para la secuencia del ensamble final.

4. Diseño de detalles

- Desarrollar plan de mercadotecnia
- Definir geometría, materiales y documento de diseño industrial
- Definir procesos de producción y comenzar abastecimiento de herramientas

Resultado: Se establece la especificación completa de la geometría, materiales y tolerancias de todas las partes que sean únicas en el producto, y la identificación de todas las partes estándar que se van a adquirir de los proveedores.

Se establece un plan del proceso y se designa el herramental para cada parte que se va a fabricar dentro del sistema de producción. Además, se abordan los costos de producción y la confiabilidad.

5. Prueba y refinamiento

- Desarrollar materiales de producción y lanzamiento
- Prueba de fiabilidad, duración, desempeño y aprobación legal
- Facilitar el arranque del proveedor, depurar los procesos de fabricación y ensamble
- Desarrollar plan de ventas

Resultado: Involucra la construcción y evaluación de múltiples versiones de producción previas del producto. Se desarrollan los prototipos alfa y beta.

6. Producción piloto

- Primera producción a disposición del cliente
- Evaluar resultados
- Comenzar la operación de todo el sistema de producción

Resultado: En esta fase el producto se fabrica utilizando el sistema de producción pretendido. Tiene como finalidad capacitar a la fuerza laboral y resolver problemas que persistan en los procesos de producción. Los productos que resultan de esta producción piloto son enviados a los clientes preferidos y evaluados de manera cuidadosa para eliminar cualquier defecto que aun exista. La transición de la producción piloto a la continua es por lo general gradual.

Pahl y Beitz

Secuencia de trabajo en el diseño según. PAHL & BEITZ (1988)

1. Problema

- Clarificar el problema
- Generar listado de requerimientos

2. Concepción

- Identificar los problemas esenciales
- Establecer las estructuras de las funciones
- Buscar principios de solución
- Combinar y confirmar variantes de conceptos
- Evaluar criterios técnicos y económicos

3. Proyecto

- Determinar arreglos preliminares y diseños de forma
- Seleccionar los mejores arreglos preliminares
- Refinar y evaluar contra los criterios técnicos y económicos
- Optimizar y completar los diseños de forma
- Verificar si hay errores y la eficiencia en costos
- Preparar la lista de partes preliminar y documentos de producción
- Finalizar los detalles
- Completar los dibujos de detalle y los documentos de producción
- Verificar todos los documentos de fabricación

4. Elaboración

- Elaboración
- Documentar información
- Solución

QFD

Quality function deployment o despliegue de la función de calidad.

Podemos fabricar un producto con unas excelentes prestaciones, a un bajo precio y, sin embargo, fracasar por no tener la acogida esperada en el mercado. Esto nos indica que debemos conocer las expectativas del cliente, y traducirlas adecuadamente a las características del producto. El QFD supone una metodología que permite sistematizar la información obtenida del usuario hasta llegar a definir las características de calidad del producto/servicio. (QFD (Quality Function Deployment)
<http://www.cge.es/portalcge/tecnologia/innovacion/4113qfd.aspx>)

1. Identificar y jerarquizar a los clientes

- Comprender a los clientes
- Seleccionar segmentos de usuarios

2. Identificación de las expectativas del cliente

- Conocer las expectativas del cliente por medio de:
 - Grupos de discusión
 - Informes sobre quejas
 - Estudios existentes en base a encuestas realizadas
 - Informes de responsables de puntos de venta
 - Publicaciones y artículos
 - Informaciones sobre la competencia

3. Conversión de la información en descripciones verbales

- Obtener medidas concretas

4. Elaboración y administración de la encuesta a clientes

- Administrar una encuesta a usuarios (usuarios nuestros, que conozcan también la

competencia)

5. Despliegue de la calidad demandada

- Obtener datos
- Generar cuadro de la calidad demandada
- Generar cuadro de la calidad planificada
- Determinar en qué aspectos hay que comprometer mayor esfuerzo

6. Despliegue de las características de calidad

- Identificar elementos susceptibles a mejora
- Elaboración de lista de indicadores (hecha por un grupo interdisciplinar)
La lista resultante deberá ser exhaustiva y consistente

Roth

Diseño metódico según Roth Deubel (2008) es el proceso algorítmico de elección con catálogo de Roth, separado por fases.

1. Fase de formulación del problema

- Planteamiento
- Análisis medio del producto
- Formulación de la función
- Listado de requerimientos

Resultado: formulación satisfactoria del problema con requerimientos primarios y secundarios.

2. Fase funcional (desarrollo)

- Desarrollo de la estructura (estructura general de la función)
- Flujograma lógico
- Elementos funcionales
- Funciones físicas (generales y específicas)

Resultado: Funciones que se cumplan.

3. Fase de determinación de formas

- Determinación de forma de acuerdo a la geometría del producto
- Determinación de forma de acuerdo al material del producto
- Determinación de forma de acuerdo a la fabricación del producto
- Función y costos efectivos nominales

4. Documentación

- Documentación para la fabricación (resultados de la actividad de diseño)

Según menciona Serrano Lledó (2017) en su metodología obtenemos los siguientes temas

TEMA 1. Introducción a la Metodología de Diseño Industrial

- 1.1. Introducción al Diseño Industrial. Diseñar y Proyectar.
- 1.2. Concepto y evolución de la Metodología en el Diseño Industrial
- 1.3. Propuesta y clasificación de las metodologías de Diseño Industrial
- 1.4. Modelo organizativo
- 1.5. Los productos industriales. Ciclo de vida de un producto.
- 1.6. El Diseño en la Empresa.
- 1.7. Norma VDI 2221.

En este primer capítulo se van a repasar algunos conceptos importantes para el seguimiento de la asignatura.

1.1 Introducción al Diseño Industrial. Diseñar y Proyectar

La actividad profesional del Diseño Industrial Serrano Lledó (2017) nos dice que encara un complejo proceso a seguir en la generación de ideas o conceptos de diseño, ya que los productos a concebir cuentan con distintos caracteres de uso, funcionales, estructurales, productivos y de mercado, -lo que origina que los proyectos por desarrollar sean diferentes, "no es posible establecer hasta no conocer el problema de diseño a resolver, criterios o normas para solucionarlos, pues todos y cada uno de ellos poseen características únicas que responden a requerimientos o restricciones específicas; sin embargo, sí es posible enunciar ciertas etapas generales aplicables a todo proyecto.

Un título para ganar competitividad

INVERTIR EN DISEÑO ES UN BUEN NEGOCIO

Esta afirmación, que muchos pensarán proviene de algún profesional del sector del diseño, es sin embargo una idea de la que gobiernos de países ya desarrollados como países en vías de desarrollo, y muchos empresarios participan, y por supuesto se benefician. La prueba es que revistas tan alejadas de los círculos de diseñadores, como las prestigiosas Business Week, o el Wall Street Journal, tienen espacios permanentes para el negocio del diseño.

¿Por qué podemos afirmar esto ahora, y no hace 15 años cuando se programaron las carreras de diseño actuales?

Fundamentalmente por dos razones. Por un lado, el cambio de paradigma descrito en el apartado anterior hace enfocar los esfuerzos en consolidar lo alcanzado, como fue la introducción en los años 80 del diseño como factor de innovación en nuestras empresas y productos, y afrontar los nuevos retos de competitividad que plantea la ampliación de la Unión Europea y los efectos de la globalización y deslocalización.

Valoración cualitativa

Efectivamente, coincidiremos en que el diseño es un proceso analítico, técnico y creativo que nos lleva a determinar un producto concreto. A la vez se puede entender como tecnología por cuanto coordina unas habilidades intelectuales con las instrumentales para obtener el fin. Es obvio que esa coordinación obedece a una disciplina proveniente de una formación de capacidades analíticas, de conocimientos técnicos sumados a una sensibilidad cultural y capacidad creativa.

Valoración cuantitativa

Hasta hace algunos años no se disponía de información sobre la amortización y, generación de beneficios de la inversión en diseño y en una efectiva gestión del mismo.

Solo se conocen por los medios de comunicación los casos de marcas más populares, sean nacionales o extranjeras, pero que, normalmente, se desconocen los datos del conjunto empresarial que es la que describiría nuestra realidad industrial.

El valor del diseño en el Reino Unido

Sin embargo, recientemente se han hecho públicos algunos estudios que vienen ademostrar que un buen diseño es un buen negocio.

Los primeros resultados, aunque fueron realizados en el Reino Unido y en los Estados Unidos respectivamente, pueden sernos útiles por la proximidad del tipo de empresas analizadas y los productos desarrollados. En el Reino Unido, la investigación fue desarrollada por el Design Innovation Group de la Open University y la Universidad de Manchester, e hizo un seguimiento sobre 221 proyectos de diseño de producto, diseño industrial y gráfico de los 300 que el gobierno británico, a través del Design Council había subvencionado parcialmente entre 1982 y 1987.

En líneas generales el análisis reveló que:

- Alrededor del 90% de los proyectos generaron beneficio, recuperando las inversiones en un término medio de 15 meses desde el lanzamiento del producto.
- El 48 % de los proyectos recuperaron sus costes totales, incluyendo utillajes, en menos de un año después de haber lanzado el producto.
- En aquellos casos donde se pudo comparar los nuevos productos con los antiguos, las ventas aumentaron el 41 % por término medio.
- Más del 40 % de las ventas resultantes de los proyectos de diseño industrial eran de exportación.
- La cuarta parte de los proyectos abrieron nuevos mercados nacionales, y el 12% abrieron mercados extranjeros.
- Se percibieron otros beneficios tangibles como la reducción de costes de

producción, el ahorro de stocks, el beneficio social de la creación de empleo, la diversificación industrial y apertura de nuevos mercados, y hasta la creación de nuevas empresas.

Pero también se reconocieron otros beneficios intangibles como la mejora en la imagen de la compañía, la apertura de expectativas al cliente habitual, el cambio de actitud de la dirección hacia el diseño que pasó de verlo como un gasto a verlo como una inversión rentable. Este aspecto puede ser especialmente significativo en la actualidad en la que el consumidor más culto o más informado, y por lo tanto más exigente, se fija en la cultura de producto que genera la empresa emisora, pudiendo ser factor determinante en la elección del consumidor.

Preguntando a las compañías sobre la influencia del diseño con respecto a otros factores en los resultados finales, el 85% afirmaban que, de todos los factores, el diseño suponía más de la mitad del éxito comercial.

La mitad de las empresas aumentaron la relación con los servicios de diseño, y una tercera parte mejoraron su actitud frente al diseño. En particular notaron que habían aprendido las bases de la gestión del diseño, especialmente lo que se refería a seleccionar, encargar y dirigir a diseñadores profesionales. Este hecho es especialmente significativo porque viene a confirmar la valoración de lo intangible, al enriquecer el saber-hacer de la empresa con este concepto del diseño como tecnología.

El valor del diseño en Estados Unidos

En el caso norteamericano, varios son los estudios que se han realizado y que vale la pena mencionar. El primero de ellos se publicó a principios de los ochenta recogiendo la experiencia de más de 14.000 productos en 1.000 empresas y que permitió establecer los criterios para la gestión de nuevos productos para la década siguiente.

Estos factores de éxito para nuevos productos se podrían resumir en:

- Orientación hacia el mercado: el consumidor debe percibir una mejora sustancial con respecto a los competidores. De no existir esa mejora, puede ser preferible

abandonar el desarrollo del producto.

- Estudio de factibilidad anticipado y especificaciones claras: viene a corroborarla idea de que es preferible dedicar atención al concepto (qué hacer) antes de ponerse a diseñar (Cómo hacerlo). Las encuestas arrojaban datos significativos: para que cinco productos dieran beneficios había que generar
- Calidad en el proceso del desarrollo de nuevos productos: se alcanza cuando el equipo de desarrollo está en total sintonía con la capacidad tecnológica de la empresa y con el departamento de marketing y ventas.

El segundo estudio fue en 1995 con ocasión del décimo aniversario del Premio a la Excelencia en Diseño Industrial (IDEA, Industrial Design Excellence Award) que otorga la Sociedad de Diseñadores Industriales de América (IDSA, Industrial Designers Society of America). En aquel aniversario pasaron de aplicar el criterio inicial de premiar al diseño que había convertido al cliente en líder del mercado a analizar cómo se producía ese liderazgo, aplicando las siguientes preguntas a los que optan a premio:

- En cuanto aumentó la cuota de mercado de la empresa en el segmento en el que se lanzó el producto.
- Si hubieron otros factores además del diseño (como una nueva promoción) que contribuyeran al éxito del producto.
- Cuál es el crecimiento anual de ventas por cada año que el producto está en el mercado (Comparado con la media del mercado)
- En cuanto aumentó el diseño las ventas del producto en su segmento.
- En cuanto aumentó la publicidad.
- Como ha satisfecho el diseño al consumidor.
- Identificar el incremento de los márgenes de beneficios como resultado de la disminución de costes en materiales y/o procesos comparados con los anteriores productos.
- Identificar mejoras para el usuario en términos funcionales, de servicio y de vigencia del producto que justifique su precio.
- Si se utilizaron patentes, si ayudaron a mantener la cuota de mercado o si habían

sido bien defendidas.

Estas coincidencias las podemos ver incluidas entre los factores clave para el éxito de un producto resultante de un proyecto de innovación:

A nivel estratégico:

1. Orientación al mercado. Conocimiento de las necesidades del usuario.
2. Coherencia con la orientación de la empresa.
3. Control de las ventajas competitivas del producto.
4. Apoyo total de la dirección y toda la organización al proyecto.
5. Eficacia en el sistema de selección y validación de proyectos. Creatividad.
6. Equipo interdisciplinar y coordinación entre departamentos.
7. Eficacia en la dirección del proyecto. Control del proceso de desarrollo.
8. Diferenciación del producto por el diseño.
9. Adaptación del producto a las capacidades tecnológicas, productivas y demarketing de la empresa

Nivel de lanzamiento

10. Previsiones de tiempos para la introducción en el mercado
11. Comercialización eficiente.

Definición de Diseño

La palabra diseño proviene del término italiano *diseño*, que significa delineación de una figura, realización de un dibujo.

En la actualidad, el concepto diseño tiene una amplitud considerable, de tal modo que especifica su campo de acción acompañándose de otros vocablos. Así tenemos: diseño industrial, diseño artesanal, diseño gráfico, diseño textil, diseño mecánico, diseño estructural, diseño de asentamientos humanos, diseño arquitectónico, diseño de plantas industriales, diseño de proceso, etc.

De acuerdo con lo que plantean Cross, Elliott, & Roy (1978) Diseño en la actualidad se toma como innovación, como creación, como avance, como solución renovadora, como un

nuevo modo de relacionar un número de variables o factores, como una nueva forma de expresión, como el logro de una mayor eficacia.

Según nos dice Rodrigues M (1952) la dificultad de escribir (y de hablar) sobre diseño reside en que esta palabra tiene diferentes significados, y según quien la emplee, puede significar:

- Un producto (p. ej.: "Este nuevo modelo de papel pintado es un diseño mío");
- Un plano (p. ej.: "Este dibujo es mi diseño para el nuevo edificio");
- Un proceso (p. ej.: "Voy a diseñar una nueva forma de hacer el trabajo").
- Un servicio (e. ej.: "Se ha diseñado un nuevo servicio como oferta para los clientes").

Y puede conceptuarse en forma:

Racional:

"Una actividad orientada a determinados fines, para la solución de problemas" (Bruce & Archer)

Administrativa:

"El esfuerzo consciente de imponer un orden significativo" Víctor (Papanek)

Mística:

"La realización de un acto de fe muy complicado" J. Christopher (Jones)

En vista de esta diversidad de significados e intuiciones respecto al diseño, tal vez sea mejor adoptar la definición de J. Christopher Jones: "El efecto de diseñar es iniciar un cambio en las cosas realizadas por el hombre".

Aquí se desplaza claramente el problema de la definición de ¿qué es diseñar? a ¿cuál es el efecto de diseñar? Cualquier actividad que inicia un cambio en las cosas realizadas por el hombre es, pues, una actividad de diseño.

Definición de Diseño Industrial

Así como es problemático dar una definición del concepto diseño, más lo es cuando se trata del término diseño industrial, ya que una somera mirada a la bibliografía en que se utiliza dicho concepto, nos dará una idea de las muy diversas maneras de concebir el papel y los objetivos de esta actividad.

En primer lugar, se enunciará la definición del término diseño industrial oficialmente reconocido por el ICSID (International Council of Societies of Industrial Design), cuyo autor es el reconocido maestro de la teoría del diseño. Tomás Maldonado. Él la dio a conocer en el año de 1961, en Venecia, Italia, durante una conferencia titulada Education for Design, en los siguientes términos:

El diseño industrial es una actividad proyectual que consiste en determinar las propiedades formales de los objetos producidos industrialmente. Por propiedades formales no hay que entender tan sólo las características exteriores, sino, sobre todo, las relaciones funcionales y estructurales que hacen que un objeto tenga una unidad coherente desde el punto de vista tanto del productor como del usuario, puesto que, mientras la preocupación exclusiva por los rasgos exteriores de un objeto determina el deseo de hacerlo aparecer más atractivo o también disimular sus debilidades constitutivas, las propiedades formales de un objeto son siempre el resultado de la integración de factores diversos, tanto si son de tipo funcional, cultural, tecnológico o económico. Dicho de otra manera, así como los caracteres exteriores hacen referencia a cualquier cosa como una realidad extraña, es decir, no ligada al objeto y que no se ha desarrollado con él, de manera contraria las propiedades formales constituyen una realidad que corresponde a su organización interna, vinculada a ella y desarrollada a partir de ella.

La segunda concepción que sobre el término diseño industrial se transcribe es producto del autor Gerardo Rodríguez:

El diseño industrial es una disciplina proyectual, tecnológica y creativa, que se ocupa tanto de la proyección de productos aislados o sistemas de productos, como del estudio de las interacciones inmediatas que tienen los mismos con el hombre y con su modo particular de producción y distribución; todo ello con la finalidad de colaborar en la optimización de los recursos de una empresa, en función de sus procesos de fabricación y comercialización

(entendiéndose por empresa cualquier asociación con fines productivos). Se trata de proyectar productos o sistemas de productos que tengan una interacción directa con el usuario (pudiendo ser bienes de consumo, de capital, o de uso público); que se brinden como servicio; que se encuentren estandarizados, normalizados y seriados en su producción, y que traten de ser innovadores o creativos dentro del terreno tecnológico (en cuanto a funcionamiento, técnica de realización y manejo de recursos), con la pretensión de incrementar su valor de uso. Estos productos y sistemas de productos deben ser concebidos a través de un proceso metodológico interdisciplinario y un modo de producción de acuerdo con la complejidad estructural y funcional que los distingue y los convierte en unidades coherentes.

En resumen, sus características destacadas son:

- Es un proceso de innovación cuyo objetivo es introducir el máximo valor añadido en el producto, con el fin de asegurar su rentabilidad económica, social y ambiental.
- Básicamente consiste en determinar adecuadamente las propiedades que definen el producto innovado.
- Se refiere exclusivamente a objetos industriales, es decir, seriales, así como al entorno de intangibles relacionados con el producto, si los hubiere, como son la marca, la publicidad, etc.

Esta última característica donde se hace mención a los intangibles asociados al producto incide de manera notable en la diferencia de concepto entre Diseño Industrial y Desarrollo del Producto, donde el primer término incluye el plan de comunicación e imagen en las empresas considerado el “diseño corporativo”.

Características esenciales de la actividad del Diseño Industrial

La gran mayoría de los teóricos del diseño, como es el caso de Bonsiepe, se establecen en común las siguientes características para definir la actividad del diseño industrial:

- Actividad que satisface las necesidades de la colectividad social mediante productos desarrollados (aislados o sistemas de productos) en interacción directa con los usuarios.
- Actividad innovadora en el ámbito de las disciplinas que constituyen el gran campo de la proyección ambiental.
- Actividad que trata ante todo de incrementar el valor de uso de los productos (función del producto y utilización por parte del usuario).
- Actividad que determina las propiedades formales (estéticas, estructurales y funcionales) de los productos.
- Actividad que pretende ser una instancia crítica en la estructuración del mundo de los objetos.
- Actividad que pretende ser un instrumento para el incremento de la productividad o para el fomento de nuevas industrias.
- Actividad coordinadora del desarrollo y planificación de productos.
- Actividad planteada como procedimiento para incrementar el volumen de las exportaciones.

Concepto y evolución de la Metodología en el Diseño Industrial

El método, a diferencia de “procedimiento” y “técnica”, aunque pueden tener valores semánticos apenas diferenciables, se define como *el modo de hacer con orden una cosa*, esta definición aporta una primera aproximación, siendo evidente la presencia de dos conceptos asociados como acción y ordenación, supuestamente racional, de las acciones.

De acuerdo con Newell & Freeman (1971) las características principales de un método son las que se detallan continuación,

- Método es una forma específica de proceder.
- Método es una forma racional de proceder, de tal forma que la probabilidad de alcanzar el objetivo con éxito es mayor que si se intentara conseguir de cualquier

otra manera.

- El objetivo del método es necesariamente general, es decir, el método debe ser aplicable a más de un problema de la misma clase.
- El uso del método es observable.

Con estas premisas, Roozenburg & Eekels (1991) proponen que el método es la *estructura de relaciones – incluso temporales – conscientemente aplicada, de un proceso de acción.*

Un concepto más sencillo de entender para los neófitos en el tema, podría ser: **la enumeración descriptiva y racional de las dimensiones de un proceso de acción y de las relaciones entre ellas, que atiende a un propósito predeterminado.** Es decir, el método describe y relaciona **qué** hay que hacer, **quién** ha de hacerlo, **dónde**, **cuándo**, **cómo**, **con qué**, etc. para conseguir un objetivo concreto. Este proceso queda resumido en la siguiente tabla,

| | |
|-----------|-----------------------------|
| ¿Qué? | Tareas-Actividades |
| ¿Quién? | Actores |
| ¿Cuándo? | Flujo (Secuencia de Tareas) |
| ¿Dónde? | Ubicación |
| ¿Con qué? | Herramientas |
| ¿Cómo? | Técnicas |

La agrupación de los conceptos previamente definidos forma un tándem que a continuación se define como

Metodología del Diseño Industrial: La enumeración descriptiva y racional de las dimensiones del proceso de diseño de producto innovadores y de las relaciones entre ellas, que atiende –al menos – a los siguientes objetivos predeterminados:

El **objetivo principal** del método de diseño industrial será “**definir correctamente** (nivel de detalle exigido a un producto industrial) **y completamente** (nivel de detalle exigido que permita establecer un proceso productivo) **un objeto innovador de manera que pueda ser fabricado en serie con unos determinados medios** (de fabricación que dispone el cliente que suponen una importante restricción y que influye notablemente en las especificaciones del producto a diseñar), **y ofrezca beneficios por su venta** (aunque

importante, no es el único indicador del éxito del producto diseñado, que justifican los honorarios profesionales del diseñador)”.

Los **objetivos adyacentes** dependen de cada profesional, entre ellos se pueden enumerare interpretar como básicos,

- La **originalidad**, independientemente del plagio, acto a descartar por el compromiso ético y legal, el diseñador industrial debe ser consciente de que la obra, tanto a nivel global como individual, debe ser original. Olvidar este objetivo puede hacer caer al diseñador en el autoplagio, por lo que el diseñador se encuentre en una pérdida de actualidad y de competitividad del producto en el mercado.
- El **compromiso ético**, se ha de tener en cuenta que la premisa fundamental para el empresario es la del beneficio industrial, frente a aquellos requerimientos del diseño tan importantes como la lucha contra el plagio, la seguridad de los objetos, tanto a nivel funcional como materiales utilizados, así como del proceso productivo, la utilidad de los productos de consumo, la protección del menor y la protección del medio ambiente.
- El Diseñador Industrial debe huir de aquellas propuestas de trabajo en las que la seguridad de los objetos no sea uno de los requisitos básicos de los mismos. En la actualidad, las exigencias de los mercados marcan esta pauta, aunque todavía existen mercados incipientes o grupos de consumidores menos favorecidos, en los que la capacidad de autorregulación no se ha desarrollado y, por ello, exista mayor posibilidad de introducir productos de baja calidad o seguridad para obtener mayores beneficios.

El compromiso ético más complicado de alcanzar es la de dotar al producto de un valor de uso claro, diferenciado y necesario. Uno de los casos con un alto nivel de sensibilización es la protección del menor, por lo que los aspectos legales sobre los mismos deben ser un punto de partida en las especificaciones del diseño, por lo que el diseñador deberá exigir a sus creaciones un respeto al correcto desarrollo físico, psíquico y social del menor. Un tema similar al mencionado es la protección del medio ambiente, siendo las consecuencias, de un mal uso, mucho más predecibles y palpables. Es por ello, que todos los requerimientos legales que afecten a este tema pasarán directamente a formar parte de la lista de especificaciones de diseño.

- Otro de los objetivos adyacentes, es la **rapidez** y la **calidad de la respuesta**. El cliente valora estas dos cualidades del servicio sin que para ello se vea afectada la calidad del producto.
- La automatización del proceso de diseño y el sistema productivo reducen los periodos de ejecución y proveen seguridad en el transcurso del proceso e identifican el estado de ejecución consintiendo una mayor planificación de las tareas como de la resolución de problemas que puedan resultar.
- Para terminar, el propio favorecimiento en donde el diseñador profesional debe alcanzar, la reafirmación y expandir los beneficios propios de su dinámica de lo contrario se trataría de un diseñador industrial artesanal este favorecimiento particular hace que aumente el beneficio empresarial.

La carencia de utilizar un método o no siempre a estado cuestionado por los distintos analistas y compositores, ya que utilizan el método pueden cohibir la creatividad del trabajo. Pensando en comprender esta afirmación queda patente que también el método más ordinario asegura un resultado, sin embargo, trabajar sin método deja abierta la posibilidad de un doble fracaso, de no alcanzar un resultado el haber perdido el tiempo aplicado a una búsqueda inútil.

Oferta y organización de las metodologías de Diseño Industrial

Antes de investigar las diferentes ofertas metodológicas dadas por diversos autores. Será necesario explicar que estas tienen que concluir los siguientes aspectos.

- Está orientada hacia la solución de cualquier problema
- Estar dirigida hacia la resolución de cualquier problema, sin importar su campo de especialidad
- Promover la inventiva y la comprensibilidad
- Incrementar la suma de resultados
- Permitir la aplicación de soluciones conocidas a tareas determinadas.
- Compaginar por medios informáticos
- Revelar los logros de la psicología comitiva y la ergonomía moderna.

- Disminuir la carga de trabajo ahorrando tiempo y previendo el error humano.

Este sistema cuyos rasgos son dividirla en periodos o fases y avanzar en algoritmos que permitan alcanzar una solución de forma interactivo.

- *Afianzar la calidad el proceso y el avance particular de las fases y los controles por los que tendrá que pasar el avance del plan coordinar este desarrollo actúa como plan maestro que determina el papel de cada uno de los individuos del equipo.*
- *Programa*
Este proceso contiene hitos naturales correspondientes con la finalización de cada periodo.
- *Orientación comparando los sucesos reales con los planificados por el director del proyecto puede reconocer las posibles áreas de dificultades.*
- Optimizar una cuidadosa documentación de todo el proceso puede ayudar a identificar oportunidades de mejora.

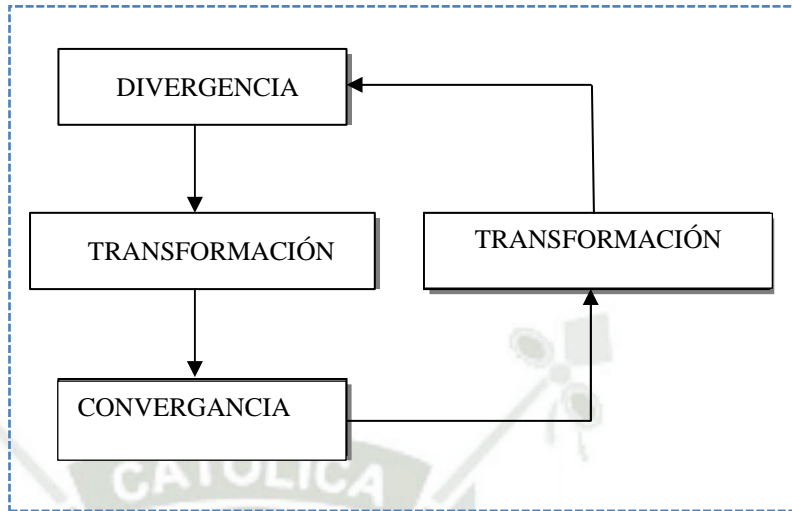
La prolongación se muestra en un conjunto de metodologías propuestas por varios autores donde se puede mirar que existe dos tendencias por el grado de investigación del problema un equipo compuesto por teorías simples y otro que investiga con cierto nivel de detalle el problema de desde su origen hasta la consumación de la venta del producto entre los autores asociados se encuentran Gómez, martínez, & Capuz Rizo (1997) Pugh

| Teoría de las Dimensiones del Proyecto (Eliseo Gómez-Senent) | | Total Design (Stuart Pugh) | Engineering Design (Pahl y Beitz) |
|--|--------------------------|--|--|
| Análisis | | Investigación de Mercado | Planificación del producto y Clarificación de la tarea |
| Síntesis | | Especificaciones | |
| ProcesoProyectual | Evaluación de soluciones | Diseño Conceptual Diseño de detalle | Diseño conceptual Diseño de conjunto (Embodiment Design) Diseño de Detalle |
| Fases | Creativas | Etapas | Principios de Trabajo (Working principles) Combinación de principios Estructuras de Trabajo (Working structures) Principio de Solución (Solution principle) |
| | Transformación | | Fabricación (DFX) |
| | Explotación | Venta | Diseño para ... (DFX) |
| Factores | | Documentos de las EDP | Lista de requerimientos |
| Metaproyecto | | Gestión del diseño | |
| Técnicas específicas | | Técnicas independientes Técnicas dependientes | Métodos generales, VDI. |
| Instrumentos operativos | | CAD y similares | |

| Sistemas Técnicos (Hubka y Eder) | Planteamiento Axiomático (SUH) |
|---|--|
| Obtención y clarificación de Información básica | Detección de necesidades |
| Especificaciones de diseño | Planteamiento de los FR's |
| Estructura de funciónEstructura de órgano Estructura de componente | Búsqueda de los Parámetros de Diseño(DP) Establecimiento de la matriz de diseño |
| Fabricación y prueba | |
| Distribución | |
| | Requerimientos funcionales (FR) |
| Técnicas de gestión y organización | |
| Métodos de diseño, metodologías | |

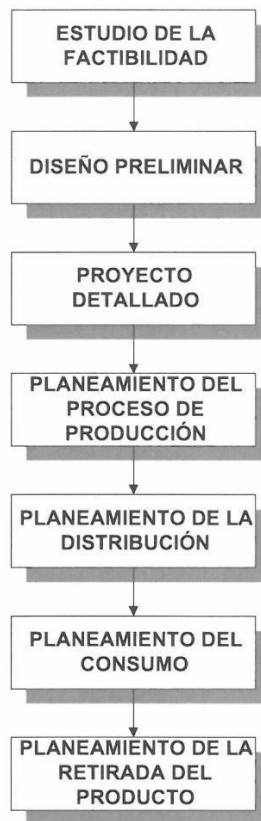
A continuación, se presentan las actividades organizadas cronológicamente según diversos autores.

Actividades según John.C. (1992)



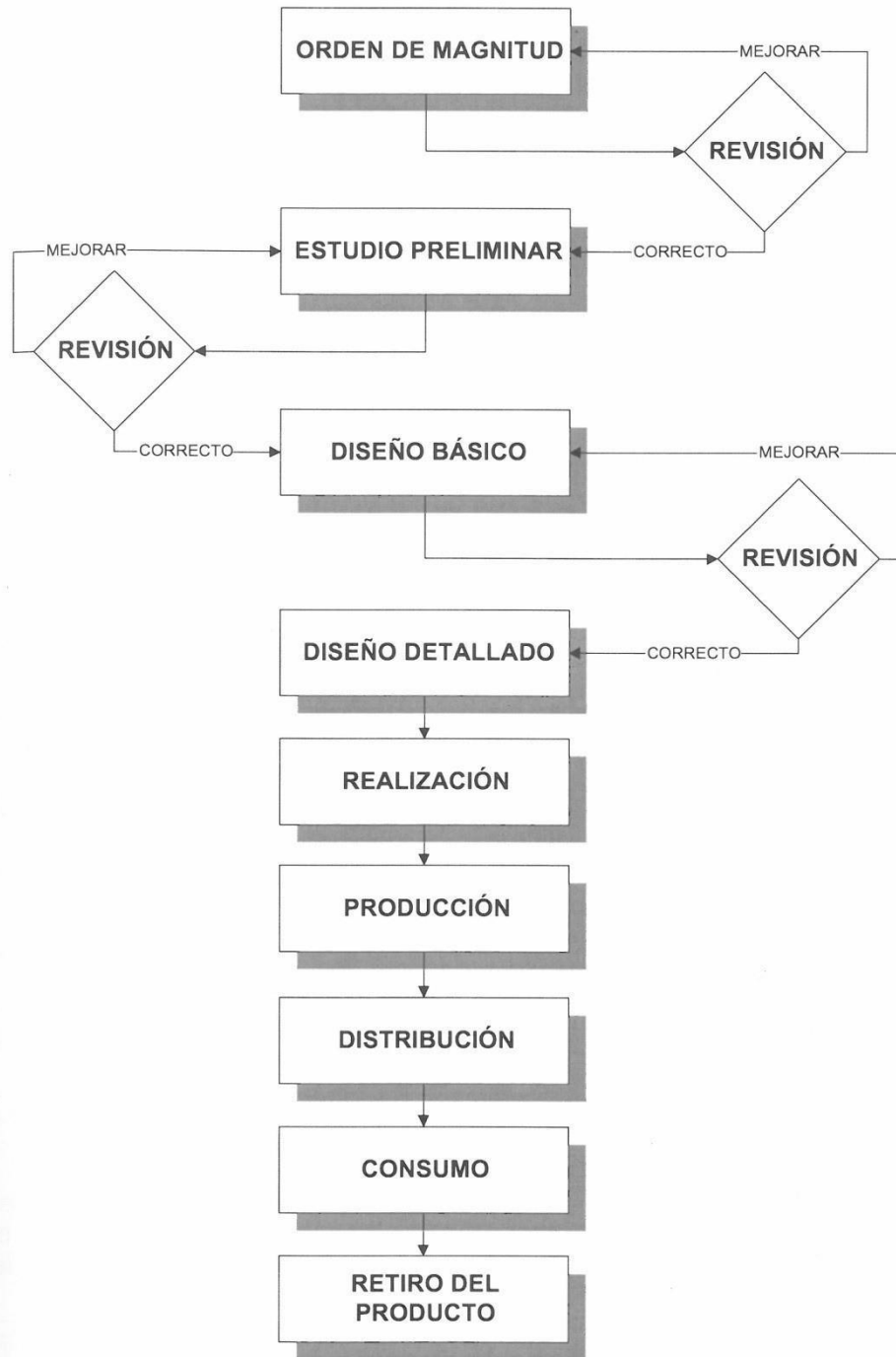
Actividades según Morris (1962)

Actividades según Morris Asimow [Asimow, 1962]



Actividades según Gómez, martinez, & Capuz Rizo (1997)

Actividades según Eliseo Gómez-Senent [GómezSenent, 1997]



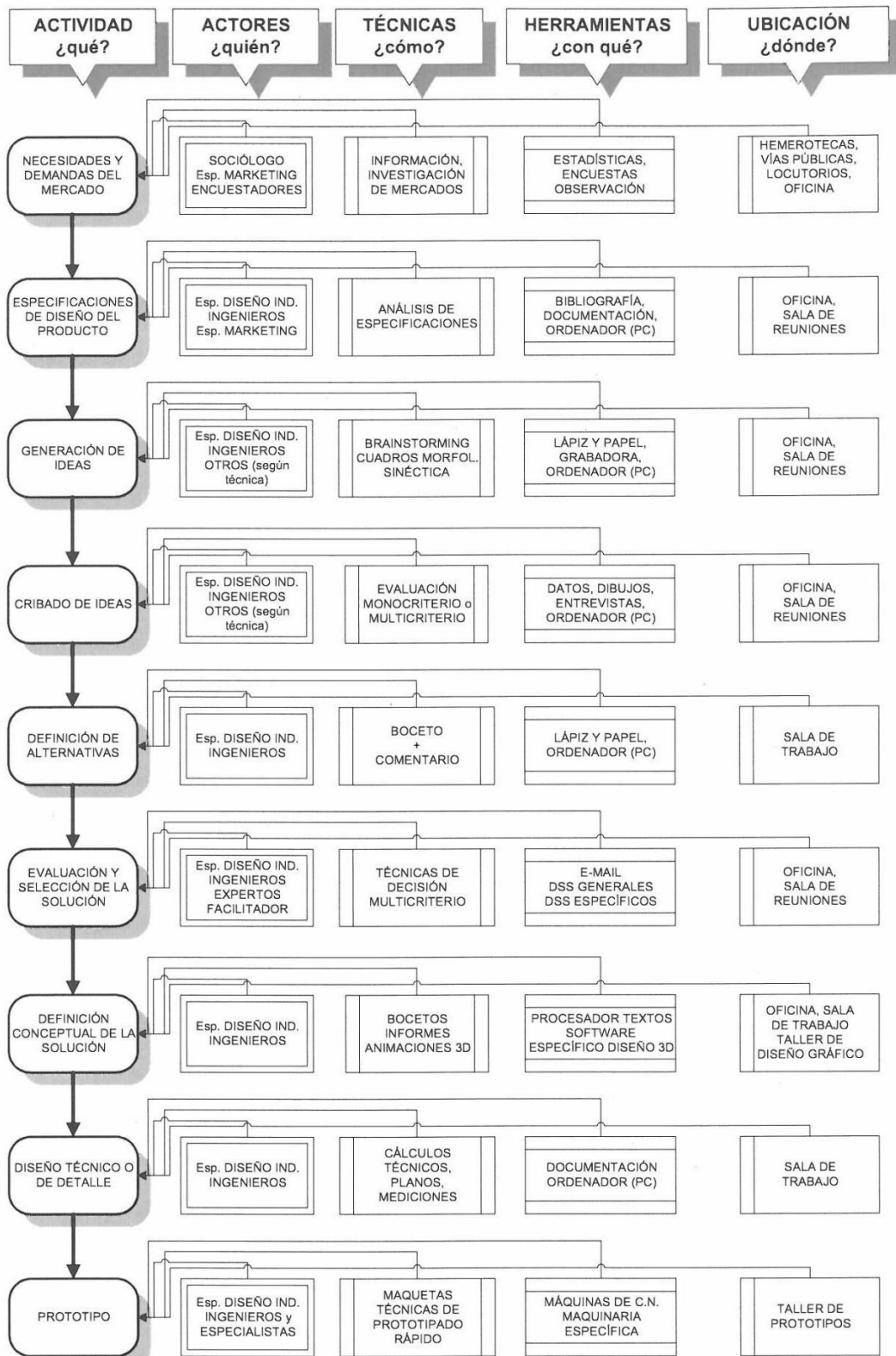
La oferta desarrollada para la materia está basada en el trabajo propuesto por Stuart Pugh grafico básico de diseño de obligada referencia, dividiendo las partes según se consiguen a continuación.

| | Fase o etapa | Descripción |
|---|--|--|
| 1 | Análisis de las carencias y demandas del mercado | Recoger información de los mercados investigación de la misma para alcanzar una visión rigurosa de las carencias o demandas existentes. |
| 2 | Particularidades del diseño | Determinación sobre los rasgos mínimos del artículo. el artículo el número de estas dependerá de la innovación del artículo aunque muchas situaciones será complicado definir las sobre un artículo inexistente que pretende cubrir un carencia específica.. |
| 3 | Introducir ideas | Acciones creativas del desarrollo de diseño y no debe verse afectada por prejuicios o restricciones innecesarias el resultado de la misma es un conjunto de soluciones con un grado de determinación meramente detallado. |
| 3 | diagnostico de ideas | La riqueza y autenticidad de un diseño dependen en gran parte de la fertilidad de la generación de ideas, aunque no todas estas ideas serán buenas por esto esta acción devolverán una lista de variaciones viables desde el punto de vista de las particularidades del diseño |
| 3 | Determinar los cambios | Se aumentan el nivel de determinación de las variaciones para su posterior valoración de este modo se realizara minuciosamente las funciones y componentes de los sus sistemas varias opiniones del conjunto y la prevención de los parámetros (confiabilidad, reciclabilidad).Es prescindible en la valoración de las alternativas. |
| 4 | Valoración y selección de la solución | Tiene como resultado escoger una alternativa sobre la que se avanzara en el artículo deseado las opiniones de valoración estarán íntimamente asociadas con las particularidades del diseño detalladas anteriormente. |

| | | |
|---|--------------------------|--|
| 5 | Determinación conceptual | determinada de una solución final se hará incrementar el nivel de determinación suministrando estilos, gráficos, tridimensionales, con animación, una instrucción cromático determinación puntual de las entradas y salidas de cada sub sistema y cuantos min ociosos sean necesarias para concluir con las particularidades. |
| 6 | Estilo técnico o detalle | Este periodo llevara a cabo todos los aprendizajes cálculos y selecciones determinaciones serán imprescindibles para delinear los planos de fabricación y montaje del articulo además de redactar una memoria del mismo. Este tiempo es lo que confiere con carácter técnico al diseño industrial, agregando la selección componentes y acabados la resolución de los sub sistemas y edición del proceso de elaboración. |
| 7 | Modelo | Se confeccionará un molde físico del articulo y se le someterá a los ensayos correspondientes para determinar su bondad respecto a las particularidades una vez superadas con éxito dichas pruebas se aumentara la fabricación masiva de los productos |

Las dinámicas del diseño industrial también agregan los periodos de fabricación expedición venta y retirada del artículo en esta visión global se puede observar los beneficios en espacios como la satisfacción del consumidor y el medio ambiente.

En la sucesión de imágenes se recogen un cuadro un argumento de la metodología propuesta con las varias etapas, así como los actores o artistas que participan las técnicas usadas los medios imprescindibles la ubicación de su ubicación.



Modelo organizativo

Conocidas y descritas las funciones será primordial establecer la forma de organización empresarial que es importante dentro de los recursos humanos que conforme parte del gabinete de diseño. Mas adelante de analizan las ventajas e inconvenientes de tres modelos concretos.

Modelo jerárquico

Las funciones, importantes y cadena de mano de los variados puestos de labores están claramente conceptuados, estables según el tamaño y alcance de la organización y no se basan del proyecto concreto a desarrollar.

Ventajas

- Cierta definición de las características de los puestos de labores que produce un efecto positivo dentro del control de la ejecución de los proyectos y la motivación de los trabajadores, debido a que cada empleado conoce sus funciones y responsabilidades y recibe órdenes de una sola persona.

Inconvenientes

- Contiene una línea a la gran burocratización de las labores, la rigidez frente al cambio, escasa agilidad de las comunicaciones interiores y la inclinación a la uniformidad de las retribuciones por escalas, esto causa un caso desmotivador.

Modelo adhocrático

Esta forma empresarial se integra “ad hoc”, vale aclarar, a propósito de cada artículo, la integración de equipos de labores ya sea a vblo que se quiere obtener. De esta manera, será importante establecer un responsable-gestor por proyecto (Project leader o Project manager) que haga suyas las tareas de organización interior del equipode labores.

Ventajas

- Estas formas rápidas y con una comunicación interior rápida. Es altamente motivante ya que supone conocer en todo instante los objetivos del trabajo. Permite la integración de los recursos humanos más adecuados, por sus características, a un término concreto y permite conocer retribuciones diferenciadas en función de los triunfos alcanzados por cada empleado.

Inconvenientes

- Contiene una primordial subida de las tareas de organización. Puesto que cada encargo supone una reconstrucción del equipo de trabajo además de los problemas generados por el uso del mismo recurso por varios equipos.

La organización por divisiones

Por ser parecida en los conceptos a la forma jerárquica pero especializado de acuerdo a áreas de actividad con un propósito general o unidades de negocio.

Ventajas

- Parecidas a la forma jerárquica con su interior a la especialización.

Inconvenientes

- Introducir a las de la forma jerárquica los problemas que conlleva la reasignación de fines para aprovechar la capacidad de un recurso de manera completa y constante.

Toda vez descritos y analizados las ventajas y problemas de cada forma, se puede afirmar que el más importante y extendido en los gabinetes de diseño, conocidos como flexibles es el modelo ahocrático.

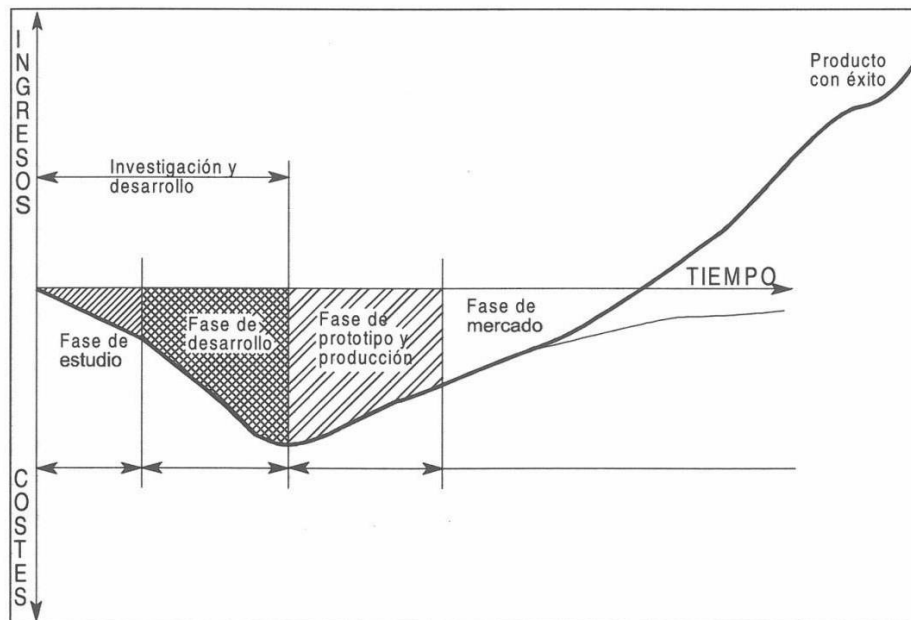
Los productos industriales. Ciclo de vida de un producto

Se conoce como producto industrial al conjunto de características tangibles e intangibles que contienen el envase o embalaje, el color, el precio, la calidad y la marca; como también los servicios, la experiencia del vendedor, etc., constituyendo en sí un producto sistema. Todo esto, diseñado y desarrollado en el contexto empresarial para su elaboración en minúsculas o grandes series. Un aspecto que caracteriza y distingue a los productos es su valor añadido, este proviene de la integración de otra serie de artículos, uso de la energía y mano de obra, además de los servicios añadidos, como transporte, tiempo de entrega, servicio técnico, financiación, garantía, etc.

Ciclo de vida de un producto

Las fases del ciclo de vida de un artículo se conocen en las etapas de introducción o lanzamiento, crecimiento, madurez y declive. Estas fases en los artículos industriales son mucho más largas que los artículos de primera necesidad. Se pueden diferenciar dichos artículos según sean sus consumidores y para qué se utilicen.

En estas fases, conocemos una en la que no se producen ingresos, sino más bien contrario el empresario puede disponer de fuentes de financiación para poder hacer frente a esta situación hasta que la comercialización de artículo haga recuperar dicha inversión en un



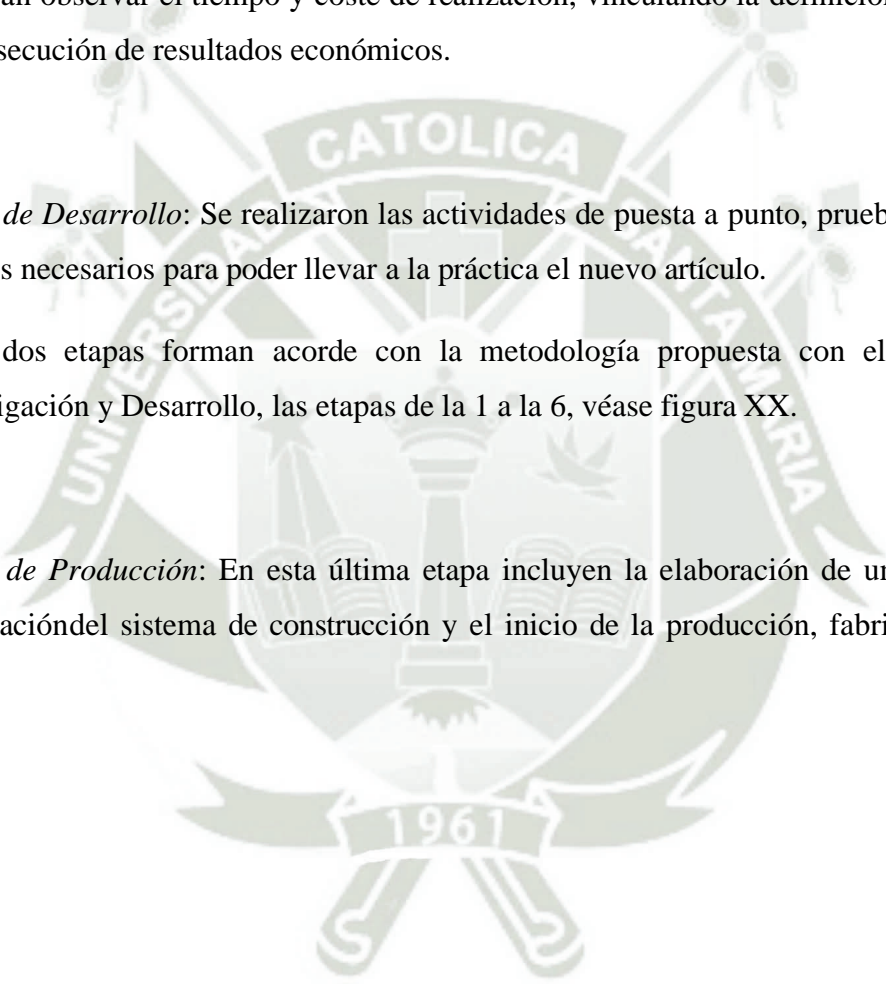
tiempo determinado. Estas fases contienen las etapas de estudio, desarrollo, prototipado y producción.

Etapa de Estudio: varía en función del trabajo y de la política, estrategia y utilidades de la organización. Las empresas por lo que general se mueven por criterios de utilidad y procuran observar el tiempo y coste de realización, vinculando la definición de artículo a la consecución de resultados económicos.

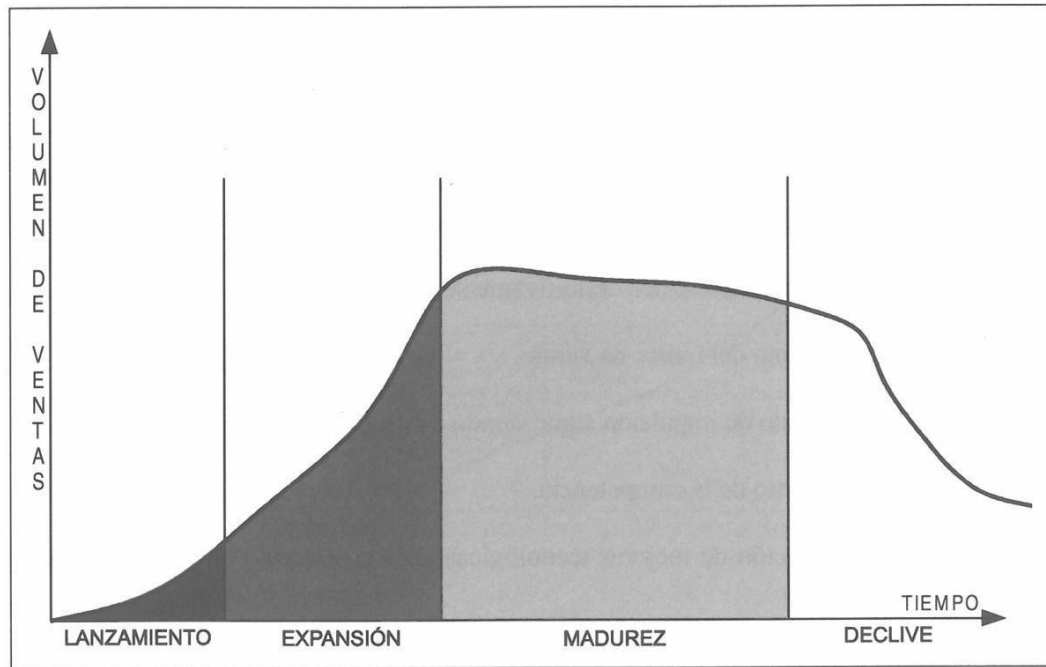
Etapa de Desarrollo: Se realizaron las actividades de puesta a punto, pruebas y controles de usos necesarios para poder llevar a la práctica el nuevo artículo.

Estas dos etapas forman acorde con la metodología propuesta con el concepto de Investigación y Desarrollo, las etapas de la 1 a la 6, véase figura XX.

Etapa de Producción: En esta última etapa incluyen la elaboración de un prototipo, la preparación del sistema de construcción y el inicio de la producción, fabricación de pre series.



El sistema de Diseño y Desarrollo del artículo finaliza cuando introducimos el artículo en el mercado, empezando una nueva fase que produzca utilidades para la empresa y está



constituida por las siguientes etapas,

Etapa de introducción o lanzamiento del artículo: el artículo es ofrecido al mercado en común o particular según los segmentos concluidos en la etapa pasada. Si el artículo responde las expectativas de sus fundadores, es aceptado por un grupo de usuarios proclives a las novedades y con alta capacidad de gasto, aunque con volúmenes de venta aún bajos, se promueve una subida paulatina de la demanda. En esta etapa el artículo comienza a ser conocido. Las utilidades por ventas aún no cubren la totalidad de los costes, puesto que la actividad todavía se mantiene en la etapa de pérdidas.

Características de la etapa:

- Producción a mayor escala bajo la supervisión de un programa exhaustivo de mercadotecnia.
- Comúnmente el aumento en las ventas se produce de manera tranquila..

- Las operaciones del periodo introductorio se caracterizan por costes subidos, pérdidas netas y distribución limitada.
- El motivo precio índice excesivamente en los artículos nuevos, ya que suelen ser más subidos que al momento de estar ya introducidos en el mercado, debido a varios motivos:
 - o Elevados costes por producciones pequeñas.
 - o Problemas tecnológicos de producción y subidos gastos de promoción.
 - o Existencia de pocos competidores.
 - o Introducción a clientes de renta elevada.
 - o Reducida distribución.
 - o Exceso de inversión en técnicas impulsivas.

Etapa de crecimiento: Como avanza el artículo es comprado en el mercado, se estimula la demanda y se apuntan incrementos muy fuertes en las ventas.

Características de la etapa:

- El producto es conocido definitivamente en el mercado.
- suba del índice de ventas.
- El capítulo de impulsión sigue pareciendo alto.
- Subida de la competencia.
- Introducción de innovaciones tecnológicas y de producción en los artículos y servicios.
- Penetración en variados niveles del mercado.
- Potenciación de la demanda selectiva.
- Reconocimiento de distribuidores idóneos en función del mercado.

Etapa de madurez: El artículo se posesiona en el mercado. Características.

- El artículo llega a una cota de término en el mercado.
- El ritmo de ventas sigue subiendo pero a un ritmo menor, llegando a una cota en la que las ventas se estabilizan y las utilidades empiezan a bajar.

- La competencia al artículo es fuerte.
- Aumenta el gasto en técnicas impulsivas para sostener la vigencia del artículo.
- Posibilidad de acrecentar la vida del artículo, si rejuvenece mediante modificaciones (rediseño o restyling), se utiliza una nueva promoción y/o un cambio de los costos de venta.

Etapa de declive: El artículo dentro de su etapa final motivado por variados motivos como competencia, productos sustitutivos, cansancio de los consumidores, nuevas tecnologías, etc.

Características de la fase:

- Se requiere un estudio de rentabilidad del producto en sus posibles rediseños.
- Abandono de la producción e introducción del producto en el mercado, o renovación e innovación de este.
- Las presentaciones que se llevarán a cabo en el caso de la renovación e innovación del artículo serán:
 - o Mejora del artículo de manera funcional o búsqueda de actuaciones que lo revitalicen de alguna forma.
 - o Borrar la gama de artículos, quitando los tamaños y modelos menos rentables.
 - o Conocerse de que los programas de mercadotecnia y producción sean los más eficientes posibles.
 - o Profundizar en el estudio y manejo de los gastos que genera el producto, para reducir costes al nivel mínimo, optimizando así la rentabilidad durante el resto del tiempo.

Esta etapa más conocida como obsolescencia, los artículos deben ser mejorados y innovados de acuerdo a las nuevas demandas del mercado, o a las posibilidades que da la tecnología. Esta actividad se denomina mejora continua de los artículos existentes.

Una nueva opción es para evitar el declive del artículo, es la apertura hacia nuevos mercados no explorados ni explotados.

El Diseño en la Empresa

Como indica Serrano Lledó (2017) El requisito para decir una táctica competitiva consiste en comunicar la empresa consu medio ambiente. La situación de rivalidad en un sector industrial depende de cinco fuerzas rivales básicas, como son: los cambios de nuevas empresas y productos, lasempresas competidoras, el peso comercial de los clientes, el peso comercial de los proveedores y la competitividad del sector.

La finalidad de una empresa industrial, dentro de la filosofía del libre mercado, donde la industria debe convivir de sus propios medios, es diseñar artículos funcionales y estéticamente agradables en un tiempo de lanzamiento lo más pequeño posible, con el mínimo valor, y con la finalidad de mejorar la calidad de vida del comprador final.

Podemos decir que la empresa como un ente que responde a uno o varias finalidades que generan sistemas, cosas, servicios y artículos que lleva a satisfacer una necesidad humana. La empresa conocida como un servicio al cliente, debe incorporar los métodos y metodologías del diseño que le permitan dar soluciones eficientes dentro de su entorno.

Las obligaciones previas para la gestión conforme de un diseño pasan por el conocimiento de las necesidades y del interés de los clientes potenciales, por tanto, se deben tener en cuenta los compromisos que la empresa diseñadora está en condiciones de asumir respecto a la calidad y la fiabilidad, pudiendo preguntarse hasta qué punto la organización está dispuesta a llevar a cabo un buen diseño. Es necesario que la dirección de la empresa se implique plenamente en el diseño para reaccionar a tiempo frente a los competidores en cuanto a los recursos disponibles, innovaciones en otros campos y posibles limitaciones de la organización.

Norma VDI 2221

La VDI 2221 (Verein Deutscher Ingenieure) llama “Enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos”, regla desarrollada por los ingenieros profesionales, es una condición de la VDI 2222, esta examina y comprende el problema a fondo, es especialmente necesario para la fabricación de artículo, pero necesariamente para el caso de rediseños o mejoras de productos.

El armazón de esta vista general del diseño se basa en siete etapas, siendo una de ellas con un resultado común. El final de la primera fase, la especificación es de particular importancia y constantemente se examina y se sostiene actualizada, se usa como una referencia en todas las fases subsecuentes.

La segunda fase de la transformación consiste en conocer las funciones necesarias del diseño, y fabricar un armazón de funciones diagramáticas. En la fase número tres se realiza una búsqueda de principios de solución para todas las funciones secundarias, y éstas se combinan de acuerdo con la estructura global de funciones en la solución principal. Esta se divide, en la etapa 4, en módulos realizables y una estructura de módulos que representan la descomposición de la solución en ensambles fundamentales. En la etapa 5 se desarrollan módulos claves en un conjunto de arreglos preliminares. Éstos se refinan y desarrollan en la etapa 6 para llegar a un arreglo definitivo; y en la etapa 7 se generan los documentos del producto final.

Esta guía incurre en que se pueden analizar y evaluar en todas las etapas variadas como variantes de solución, y que están mucho más detalle en cada etapa de lo que se muestra en el diagrama. Entre las advertencias que arroja se encuentra la siguiente:

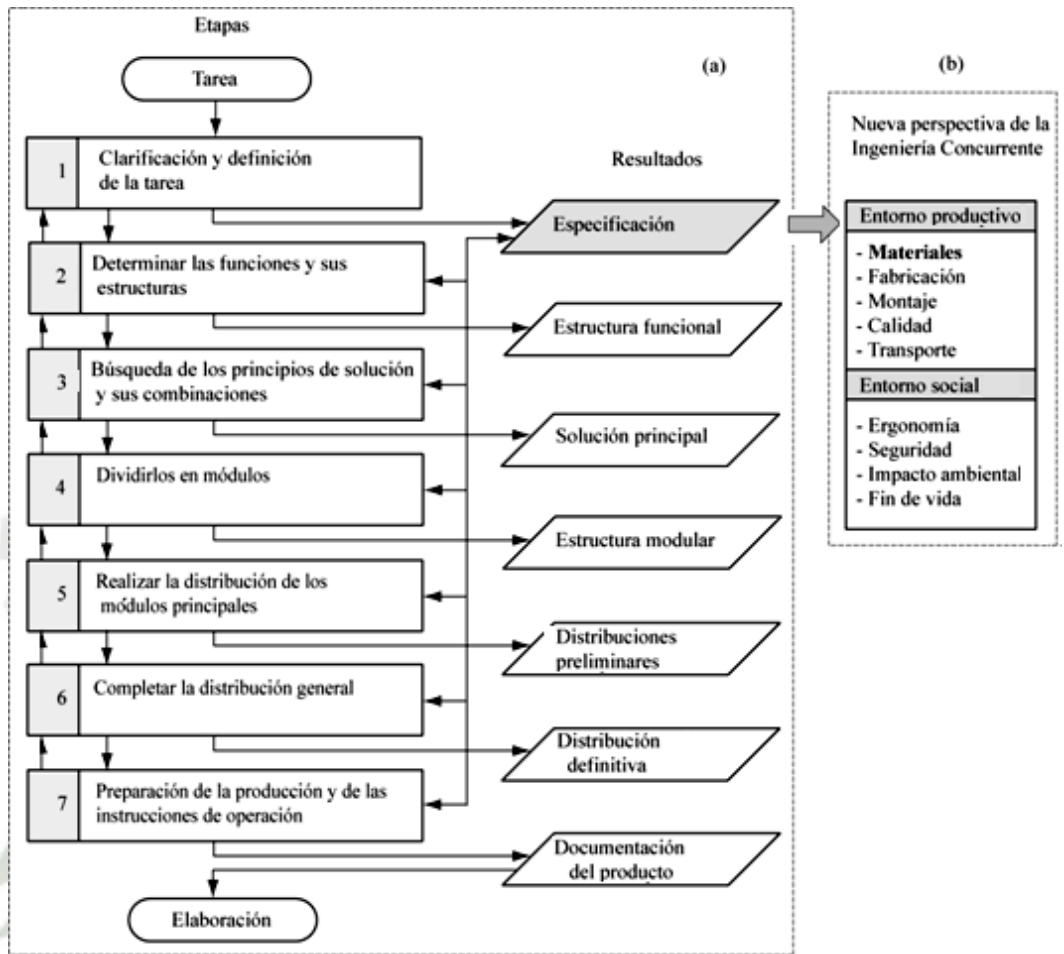
Es importante hacer notar que las etapas no necesariamente se cumplen de manera rígida una después de la otra. Es frecuente que se lleven a cabo de manera iterativa, regresando a las anteriores, y logrando de esta forma una optimización paso a paso.

La guía VDI sigue un procedimiento sistemático general en el que primero se examina y comprende el obstáculo lo más globalmente posible, luego se descompone en problemas

secundarios, se encuentran soluciones secundarias apropiadas y éstas se mezclan en un desenlace general.

Las 7 etapas generales.

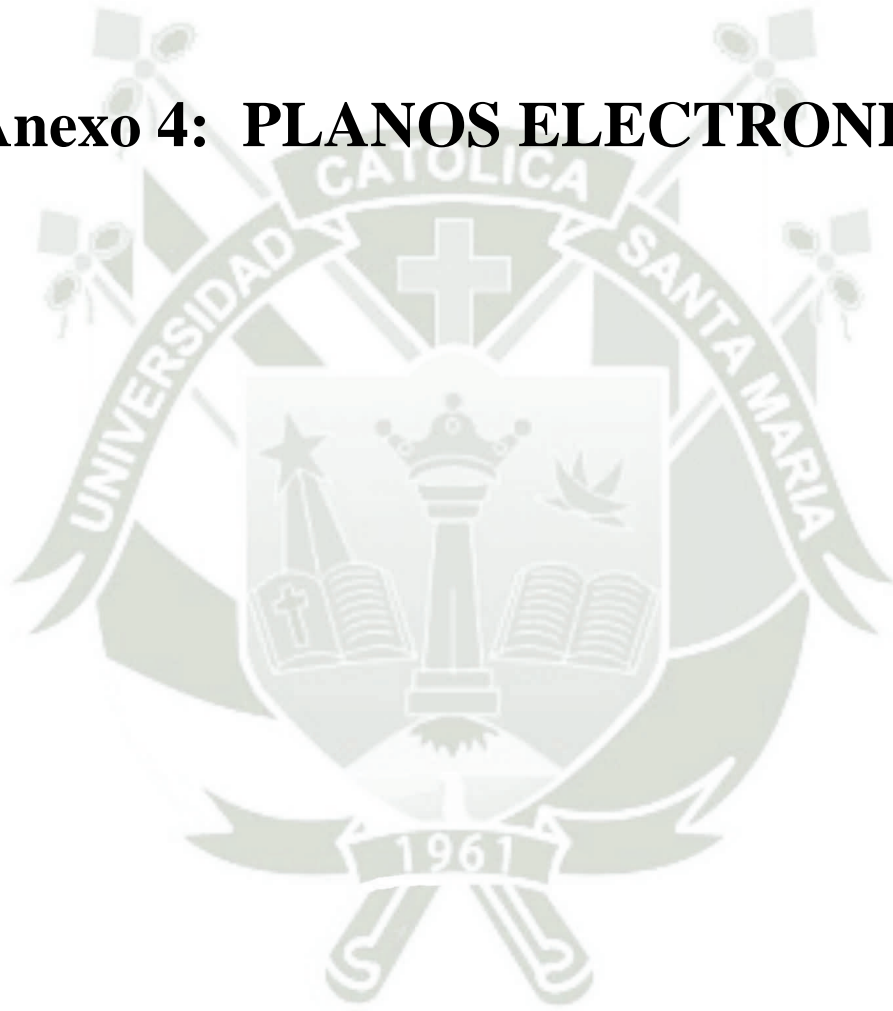
1. Especificaciones Clarificar y definir la tarea
2. Estructura de funciones Definir funciones Definir estructuras
3. Búsqueda de soluciones
Buscar principales soluciones y combinaciones
4. Estructura de modelo
Decidir en módulos realizables
5. Arreglos
Arreglos preliminares
 - Desarrollar arreglos de módulos claves Arreglos definitivos
 - Completar arreglo general
6. Documentación
Preparar instrucciones de operación y producción
7. Realización
Realización del producto

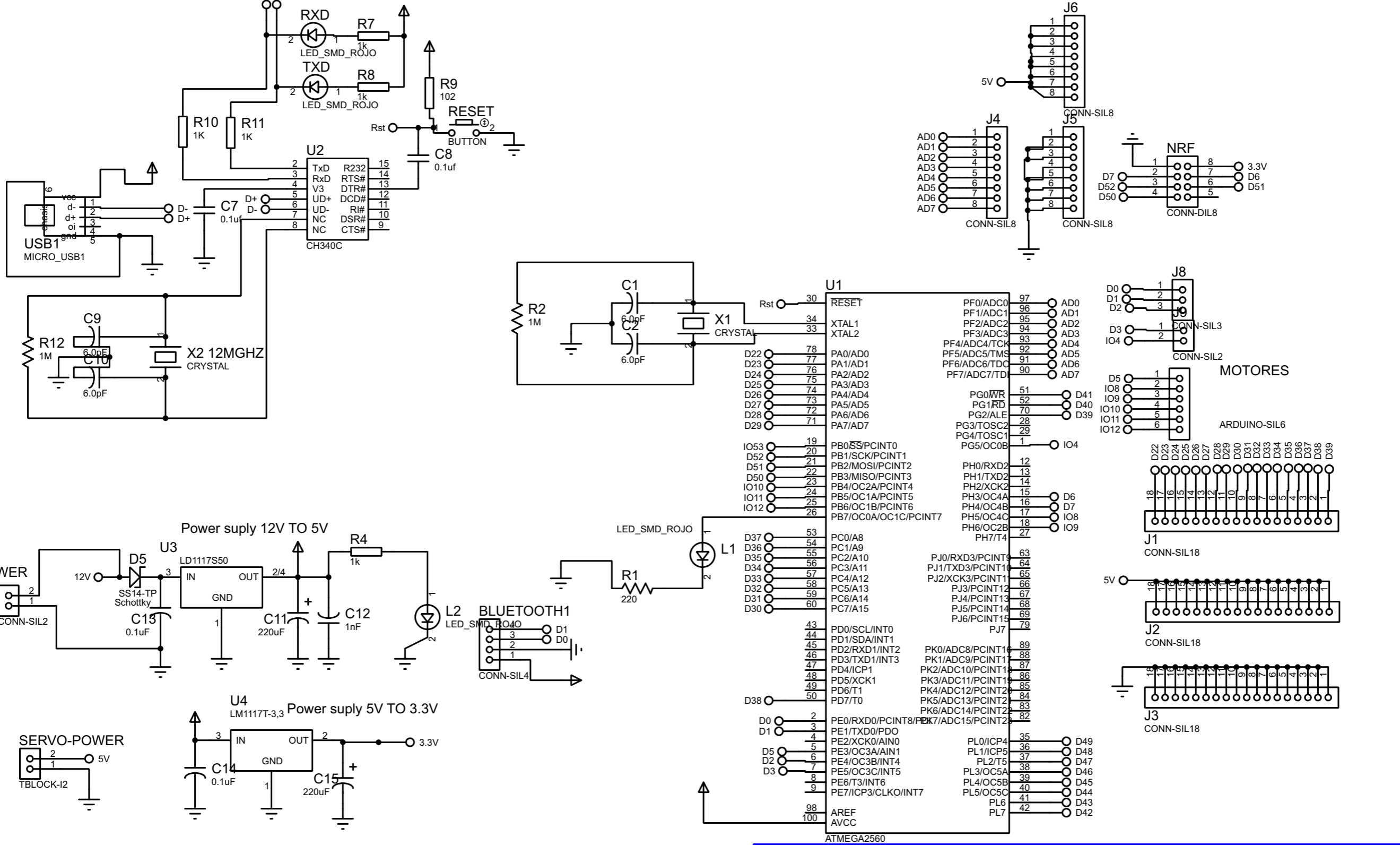



(Serrano Lledó, 2017)

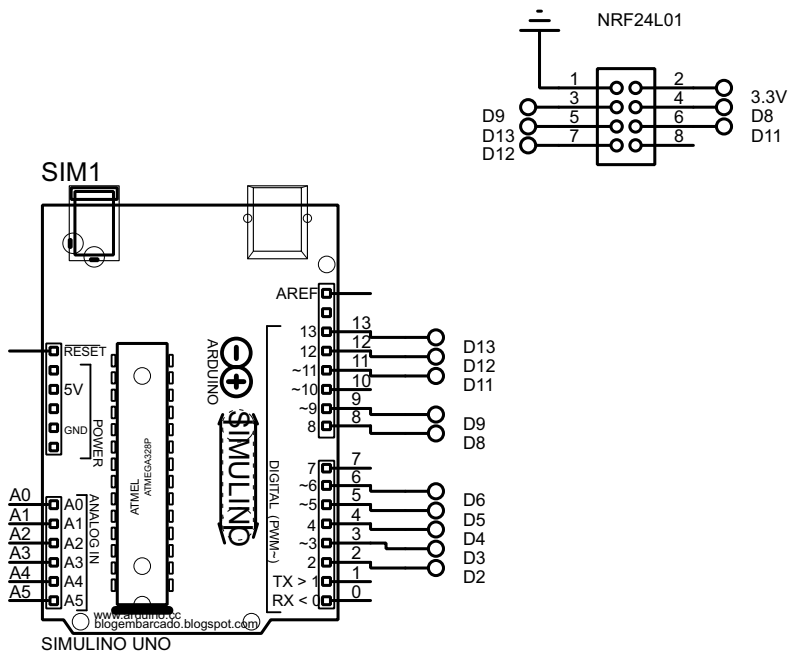
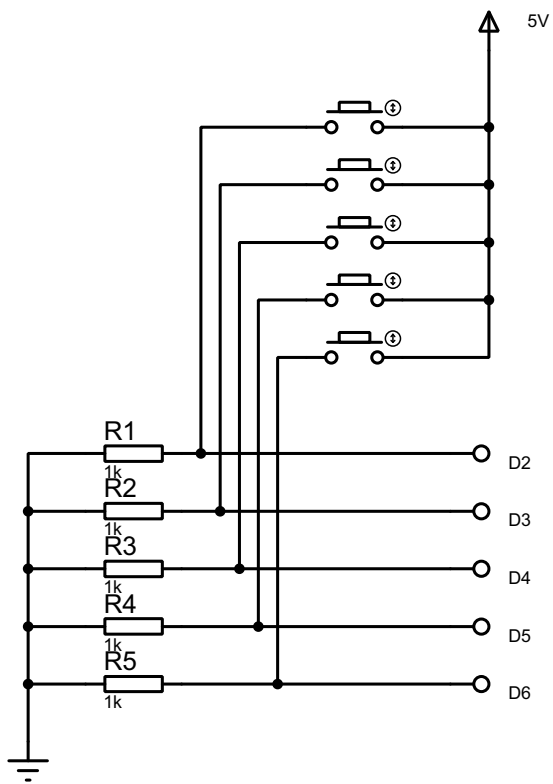


Anexo 4: PLANOS ELECTRONICOS





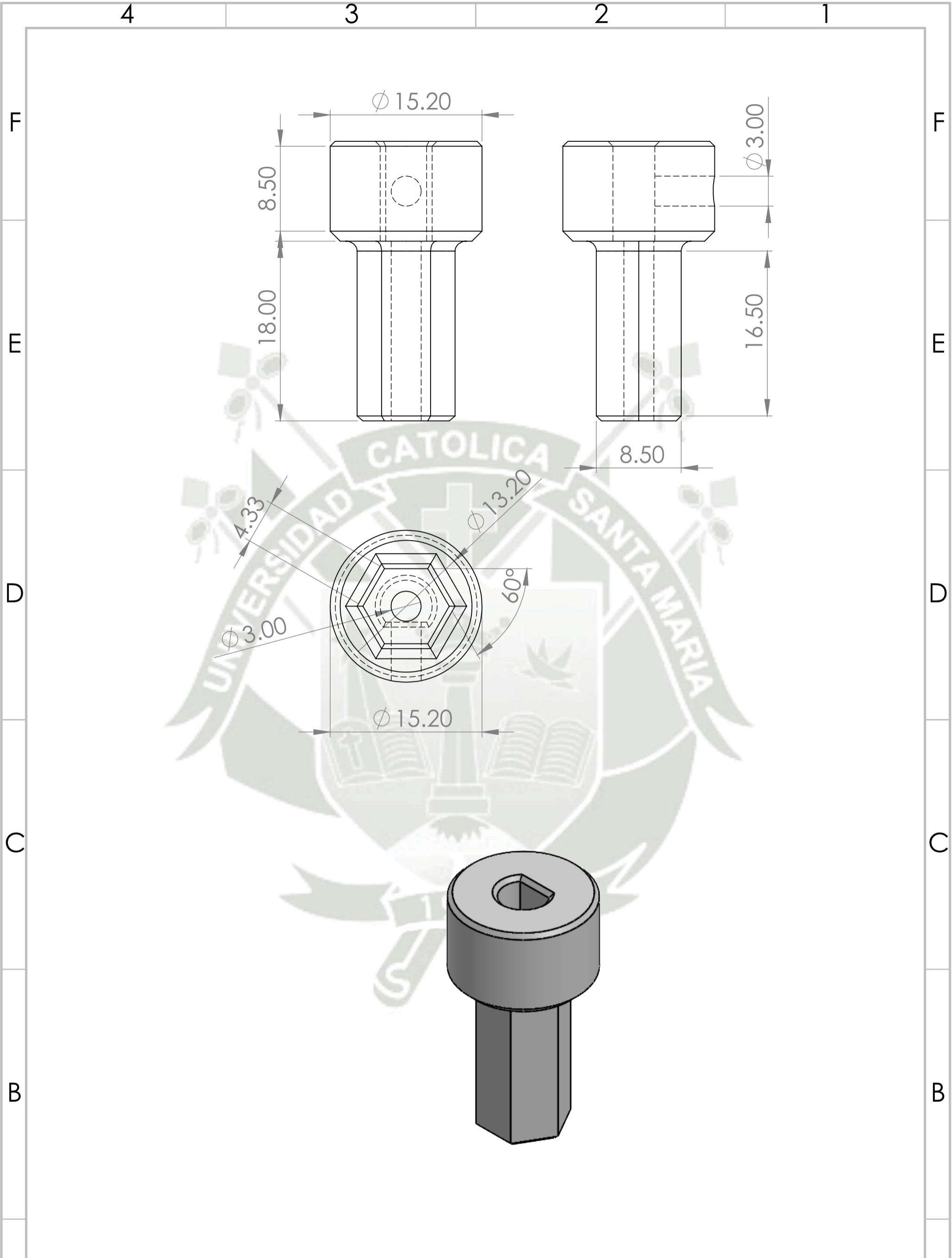
| | | | |
|----------|-----------------------------|------------|--|
| Elaboró: | Nombre | Fecha |  Universidad Católica de Santa María Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica |
| | Henry Joan Coaguila Herrera | 14/06/2023 | |



| | | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|--|--|--|-----------|
| Nombre | | Fecha | | Universidad Católica de Santa María Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | | |
| Elaboró: Henry Joan Coaguila Herrera | | 14/06/2023 | | | | |
| 1:3 | | Circuito esquemático mando de control | | | | Pág: 1 |
| | | | | | | Págs: 1-2 |

Anexo 5: PLANOS DE DISEÑO





| | | | |
|---|-----------------------|----------------------------------|--|
| A | Nombre | | Universidad Católica de Santa María Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica |
| | Elaboró: | Henry Joan Coaguila Herrera | |
| | Escala: 1:3 | 1.1 Acople Llanta - Motor | |
| | | | Pag: 1 Págs: 1-7 |

4 3 2 1

F F
E E
D D
C C
B B
A A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

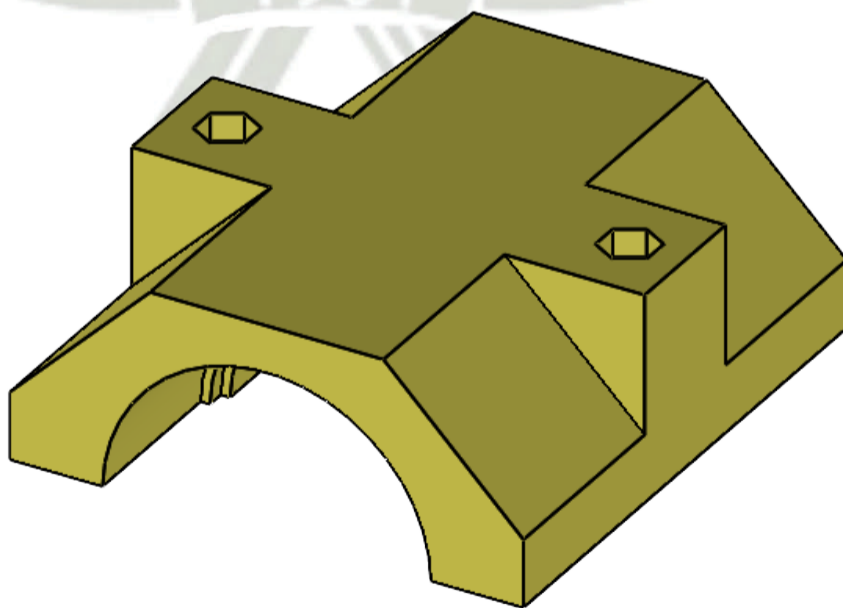
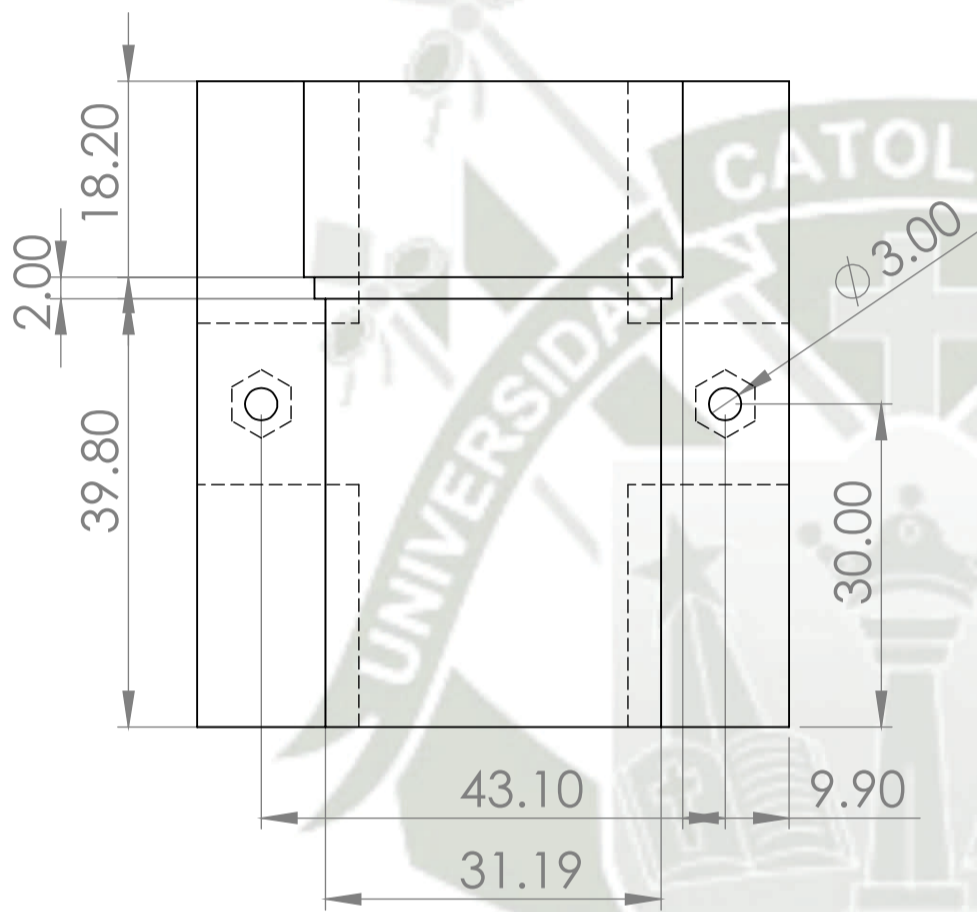
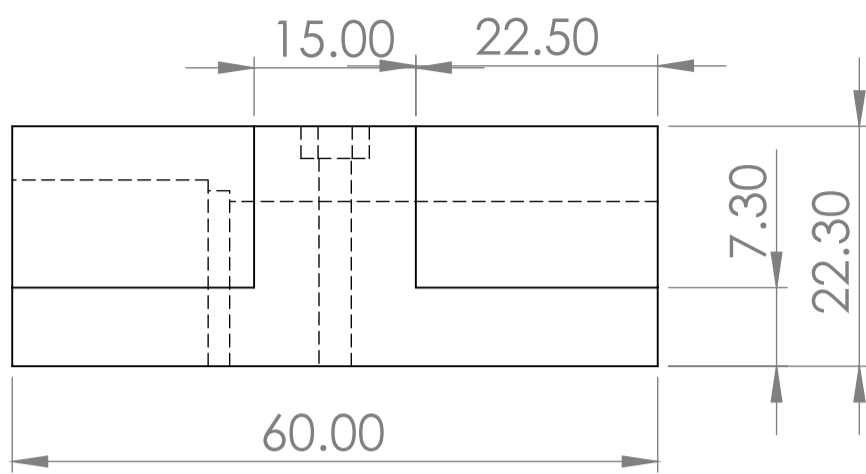
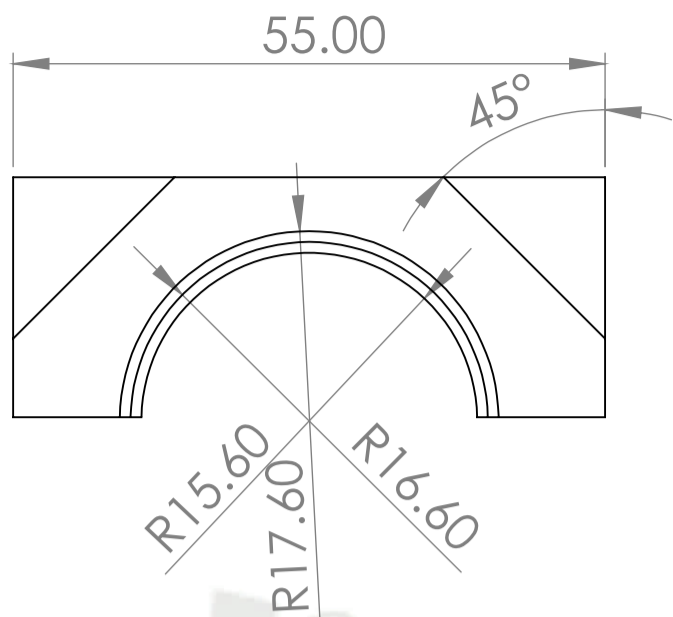
C

B

B

A

A



| | | | | |
|----------|-----------------------------|--------|------------|--|
| | | Nombre | Fecha | Universidad Católica de Santa María Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica |
| Elaboró: | Henry Joan Coaguila Herrera | | 14/06/2023 | |
| Escala: | 1:3 | | | Pag: 2 Págs: 1-7 |

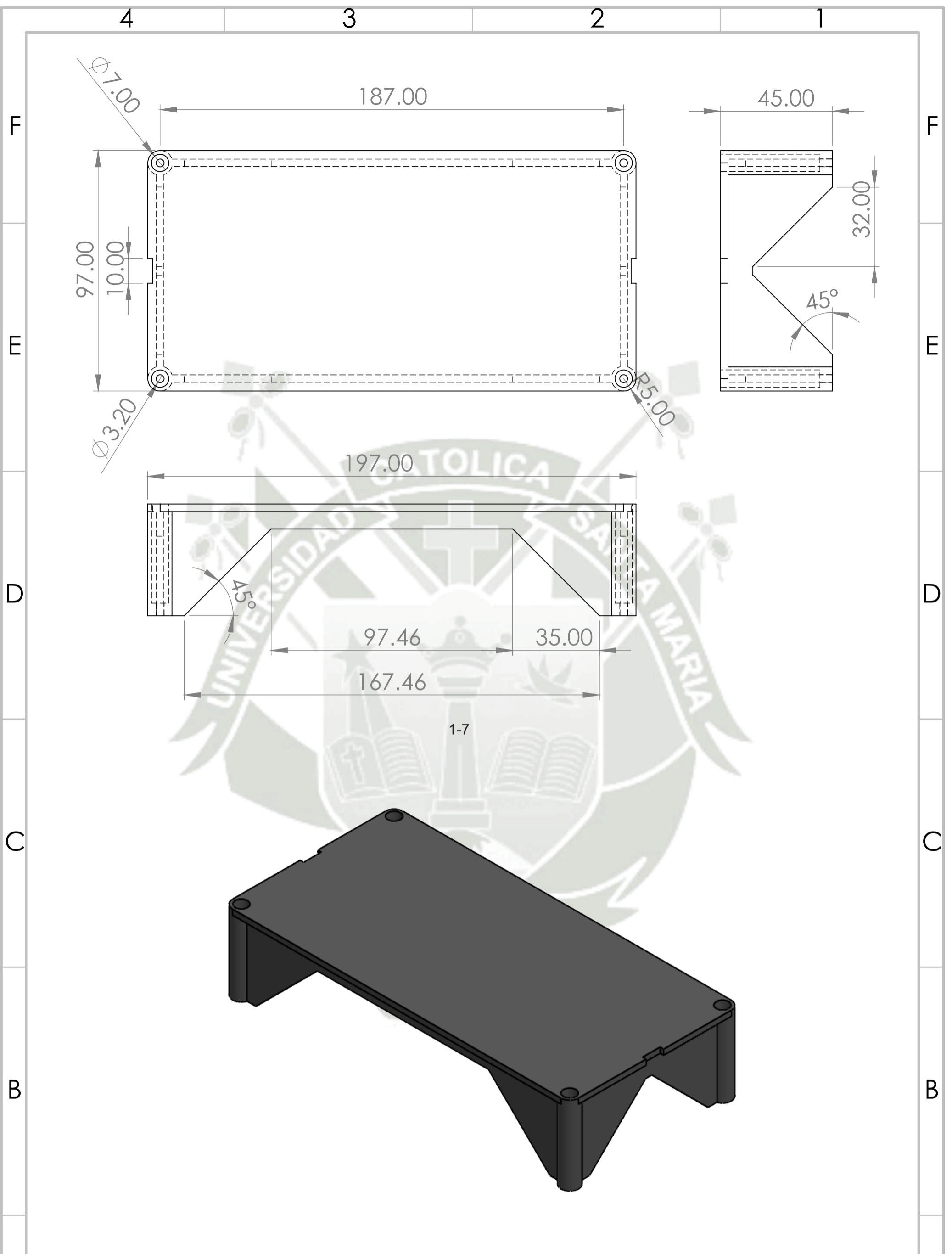
1.2 Soporte Motor

4

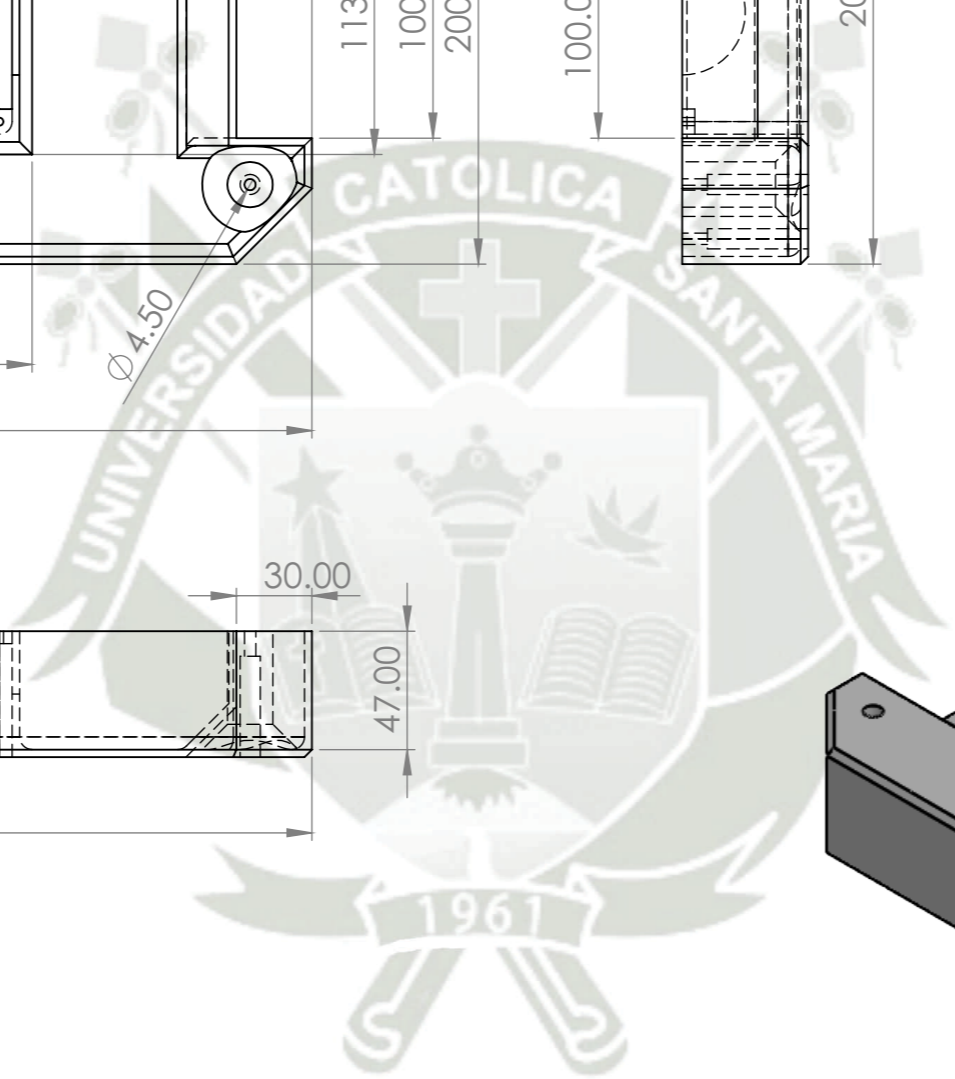
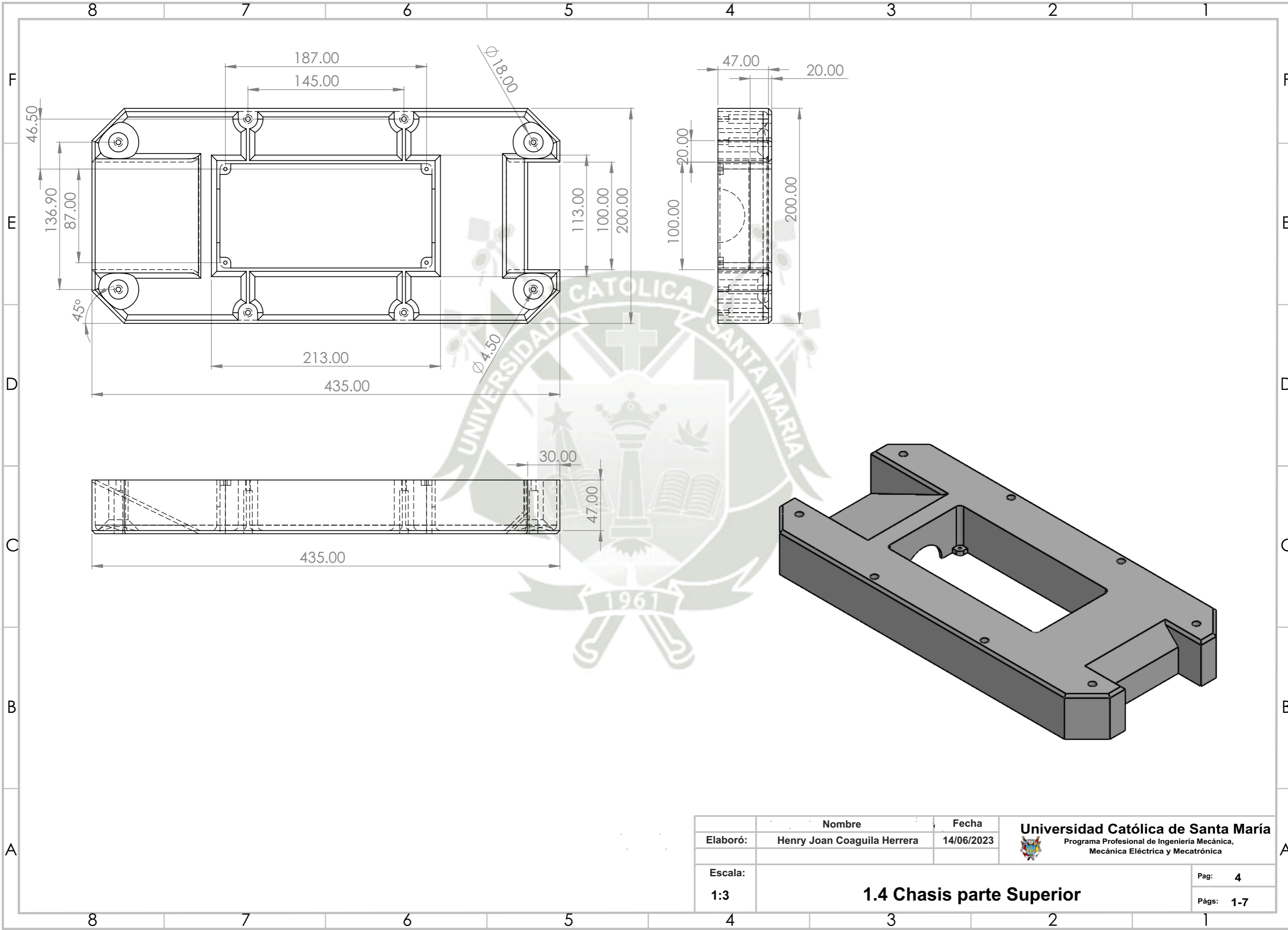
3

2

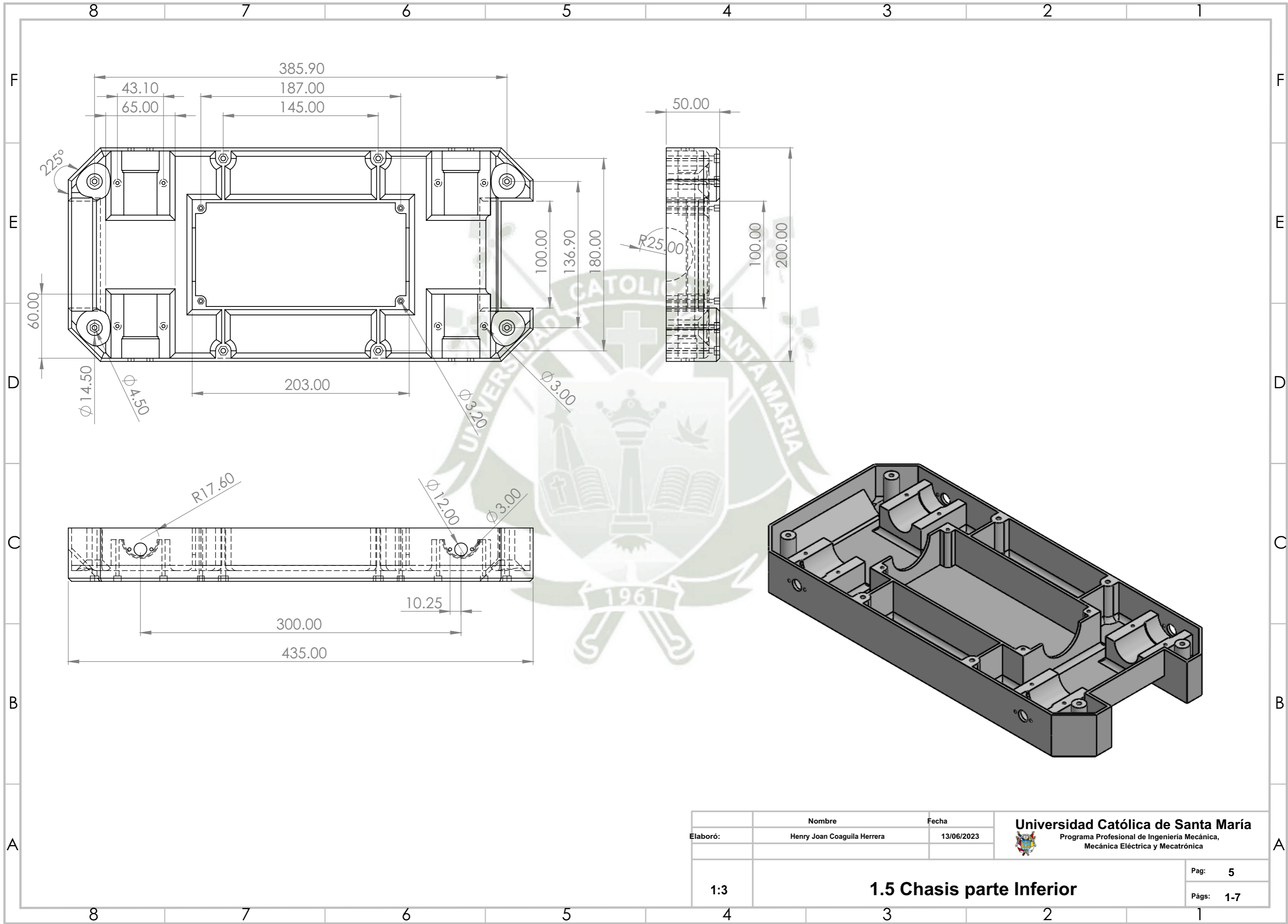
1



| | | | | | |
|-----------------|----------|-----------------------------|------------|--|--|
| A | Nombre | | Fecha | | Universidad Católica de Santa María Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica |
| | Elaboró: | Henry Joan Coaguila Herrera | 14/06/2023 | | |
| | Escala: | | | | Pag: 3 |
| | 1:3 | | | | Págs: 1-7 |
| 1.3 Tapa | | | | | |



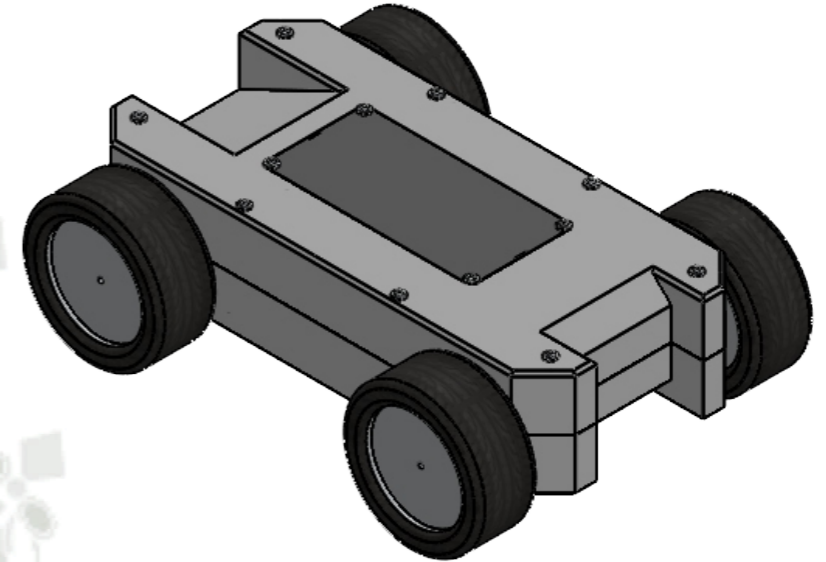
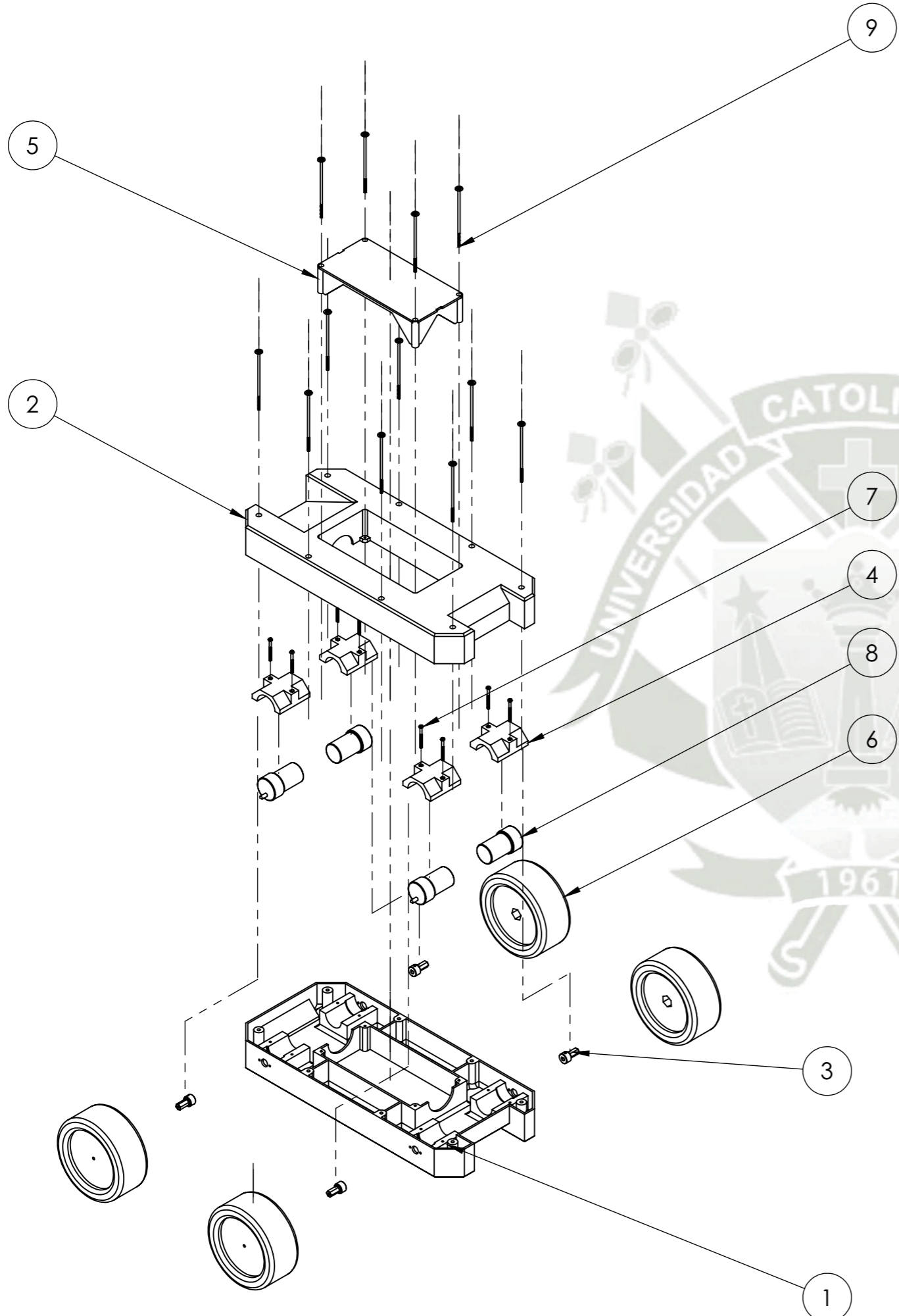
| | | | |
|----------|----------------------------------|------------|--|
| | Nombre | Fecha |  Universidad Católica de Santa María Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica |
| Elaboró: | Henry Joan Coaguila Herrera | 14/06/2023 | |
| Escala: | 1:3 | | Pag: 4 |
| | 1.4 Chasis parte Superior | | Págs: 1-7 |



| | | | |
|----------|----------------------------------|------------|--|
| | Nombre | Fecha | Universidad Católica de Santa María Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica |
| Elaboró: | Henry Joan Coaguila Herrera | 13/06/2023 | |
| 1:3 | 1.5 Chasis parte Inferior | | Pag: 5 Págs: 1-7 |

8 7 6 5 4 3 2 1

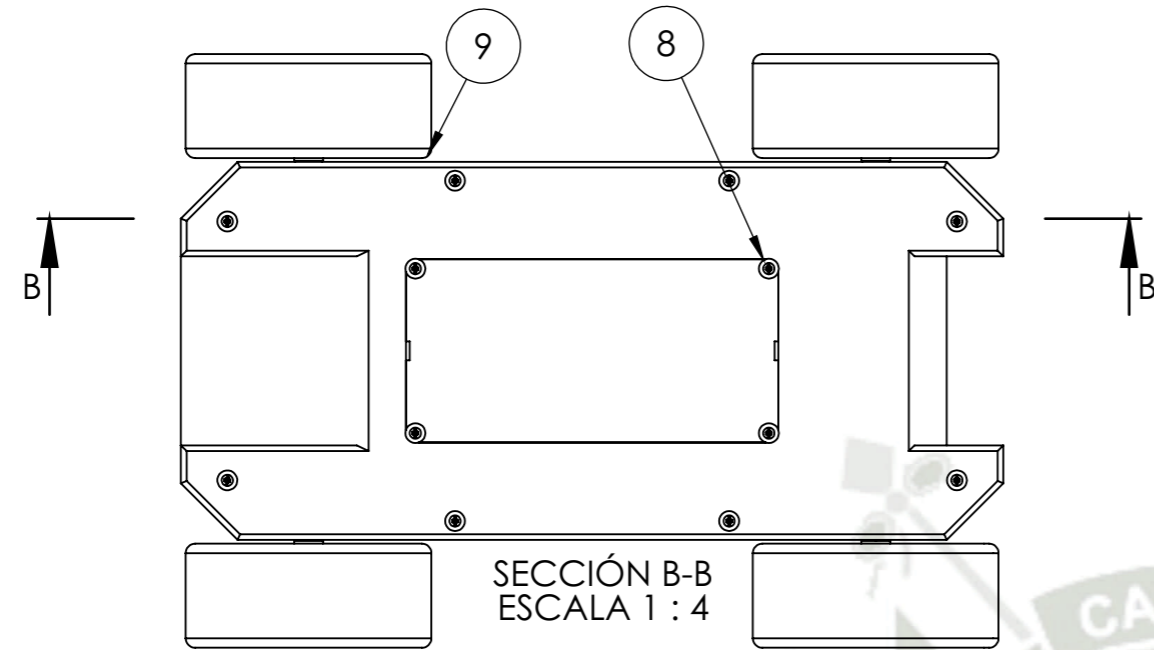
F
E
D
C
B
A



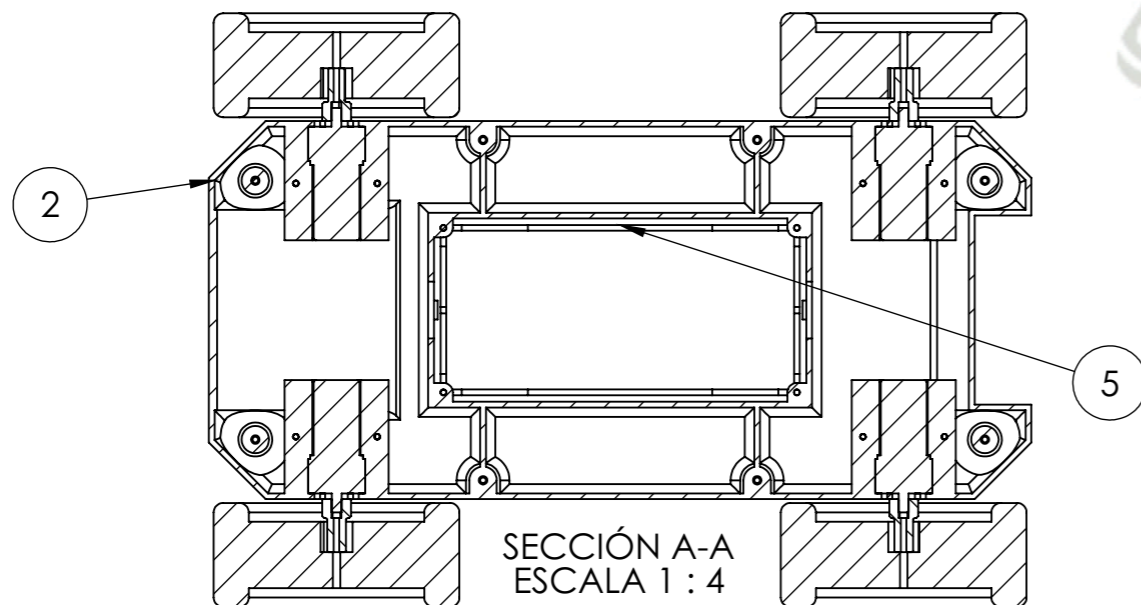
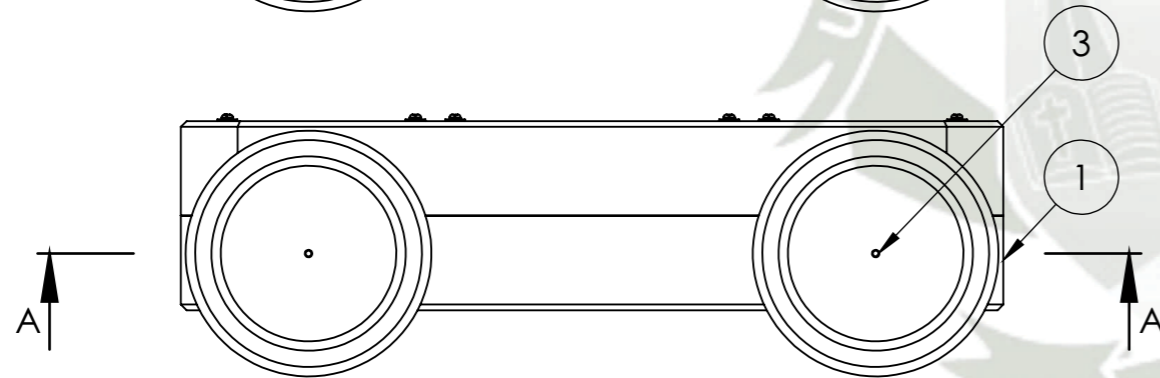
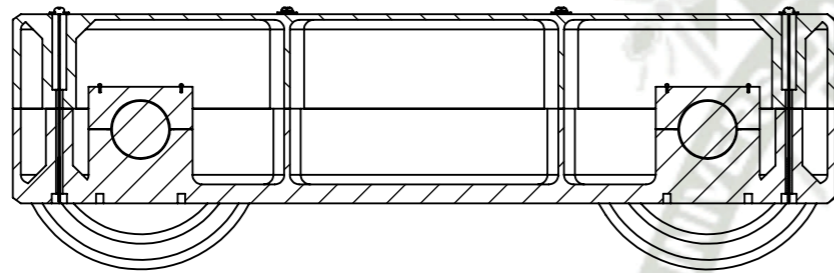
| N.º DE PIEZA | NOMBRE DE PIEZA | CANTIDAD |
|--------------|-----------------------|----------|
| 1 | Chasis parte inferior | 1 |
| 2 | Chasis parte superior | 1 |
| 3 | Acople llanta-motor | 4 |
| 4 | Soporte motor | 4 |
| 5 | Tapa | 1 |
| 6 | Rueda | 4 |
| 7 | Perno 3MX1" 1/2 | 8 |
| 8 | Motor | 4 |
| 9 | Perno 3MX2" 1/2 | 12 |

| | | | | |
|---|--|-----------------------------|------------|--|
| Elaboró: | | Nombre | Fecha |  Universidad Católica de Santa María Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica |
| Escala: | | Henry Joan Coaguila Herrera | 14/06/2023 | |
| 1.6 Plano de Explosión Robot 4WD | | | | Pag: 6 Págs: 1-7 |

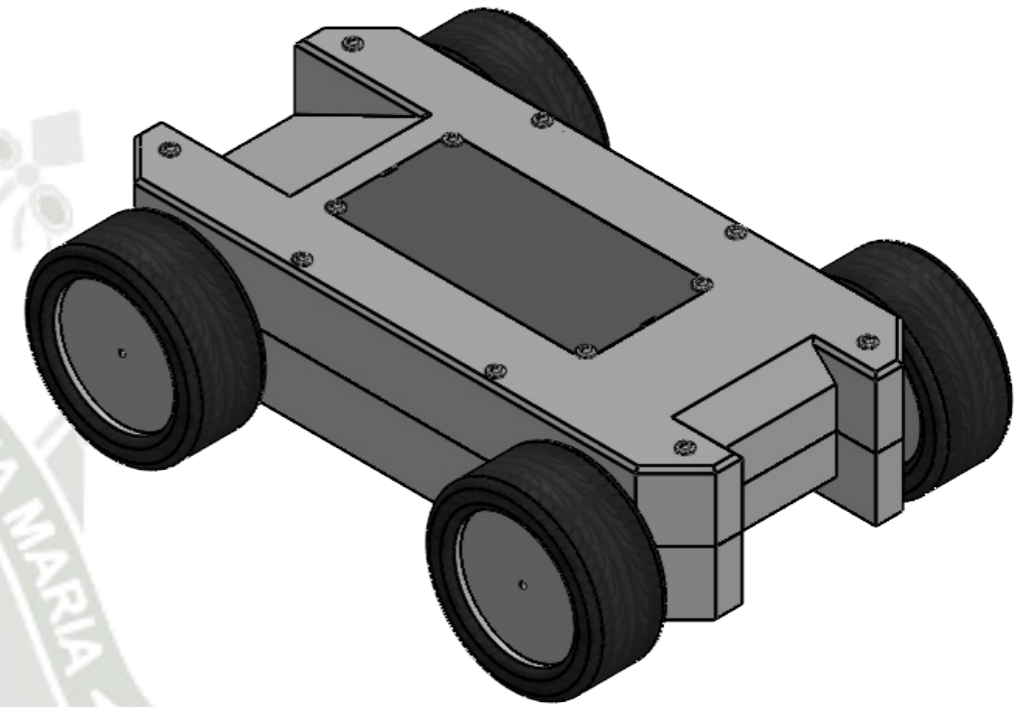
8 7 6 5 4 3 2 1




SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 4



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 4



| N.º DE PIEZA | NOMBRE DE PIEZA | CANTIDAD |
|--------------|-----------------------|----------|
| 1 | Chasis parte inferior | 1 |
| 2 | Chasis parte superior | 1 |
| 3 | Acople llanta-motor | 4 |
| 4 | Soporte motor | 4 |
| 5 | Tapa | 1 |
| 6 | Perno 3MX1" 1/2 | 8 |
| 7 | Motor | 4 |
| 8 | Perno 3MX2" 1/2 | 12 |
| 9 | Rueda | 4 |

| | | | | | |
|----------|---------|-----------------------------|--|------------|--|
| Elaboró: | Nombre | Henry Joan Coaguila Herrera | Fecha | 14/06/2023 |  Universidad Católica de Santa María Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica |
| | Escala: | 1:4 | 1.7 Plano de Ensamble Robot 4WD | | |
| | | | | | Págs: 1-7 |

Anexo 6: DATASHEET SENSORES

(ELECTRONICS, DATASHEET MQ-2)

(ELECTRONICS, DATASHEET MQ-4)

(ELECTRONICS, DATASHEET MQ-135)

(SENSORTECH, DATASHEET MICS-6814)

(MICROELECTRONICS, DATASHEET L298)

(NORDIC, DATASHEET NRF24L01)

(SEISA, DATASHEET CAMARA WIFI)

TECHNICAL DATA

MQ-2 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope
Stable and long life

Fast response and High sensitivity
Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of LPG, i-butane, propane, methane ,alcohol, Hydrogen, smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

| Symbol | Parameter name | Technical condition | Remarks |
|----------------|---------------------|---------------------|----------|
| V _c | Circuit voltage | 5V±0.1 | AC OR DC |
| V _H | Heating voltage | 5V±0.1 | AC OR DC |
| R _L | Load resistance | can adjust | |
| R _H | Heater resistance | 33 Ω ± 5% | Room Tem |
| P _H | Heating consumption | less than 800mw | |

B. Environment condition

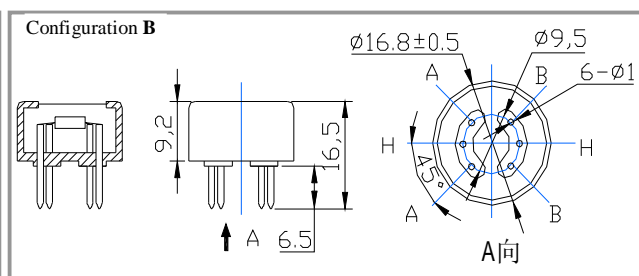
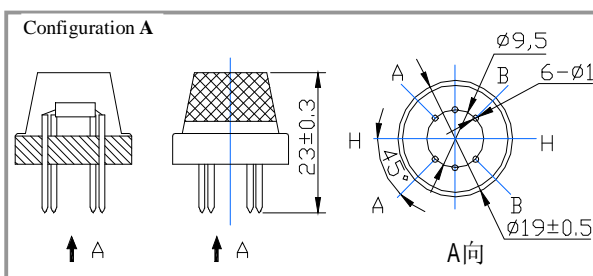
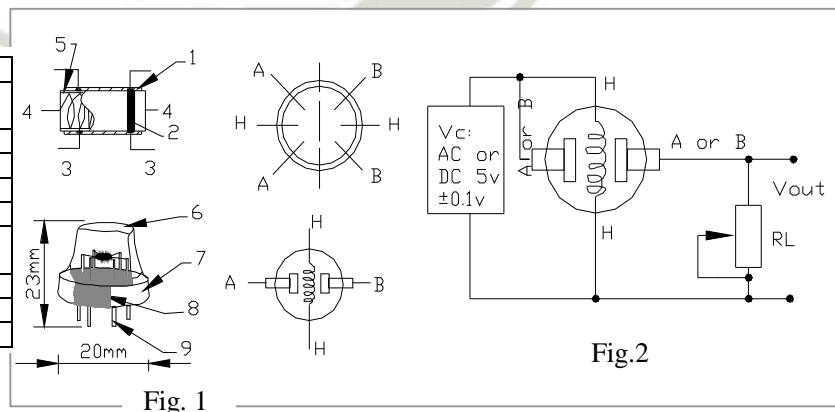
| Symbol | Parameter name | Technical condition | Remarks |
|----------------|----------------------|--|--------------------------|
| Tao | Using Tem | -20℃-50℃ | |
| Tas | Storage Tem | -20℃-70℃ | |
| R _H | Related humidity | less than 95% Rh | minimum value is over 2% |
| O ₂ | Oxygen concentration | 21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity | |

C. Sensitivity characteristic

| Symbol | Parameter name | Technical parameter | Remarks |
|-------------------------------|------------------------------------|---|---|
| R _s | Sensing Resistance | 3K Ω -30K Ω (1000ppm iso-butane) | Detecting concentration scope: 200ppm-5000ppm LPG and propane 300ppm-5000ppm butane |
| α (3000/1000) isobutane | Concentration Slope rate | ≤0.6 | |
| Standard Detecting Condition | Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65%±5% | V _c :5V±0.1 V _H : 5V±0.1 | 5000ppm-20000ppm methane 300ppm-5000ppm H ₂ |
| Preheat time | Over 24 hour | | 100ppm-2000ppm Alcohol |

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

| Parts | Materials |
|--------------------------|---|
| 1 Gas sensing layer | SnO ₂ |
| 2 Electrode | Au |
| 3 Electrode line | Pt |
| 4 Heater coil | Ni-Cr alloy |
| 5 Tubular ceramic | Al ₂ O ₃ |
| 6 Anti-explosion network | Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh) |
| 7 Clamp ring | Copper plating Ni |
| 8 Resin base | Bakelite |
| 9 Tube Pin | Copper plating Ni |



Structure and configuration of MQ-2 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a

crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-2 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

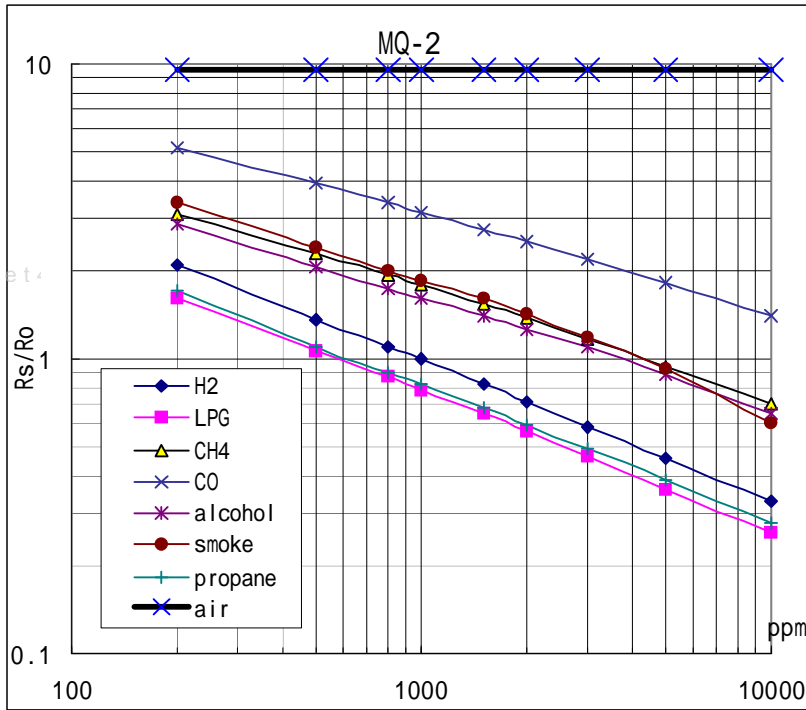


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-2

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-2 for several gases.

in their: Temp: 20°C、
Humidity: 65%、
O₂ concentration 21%
RL=5k Ω

Ro: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in the clean air.
Rs:sensor resistance at various concentrations of gases.

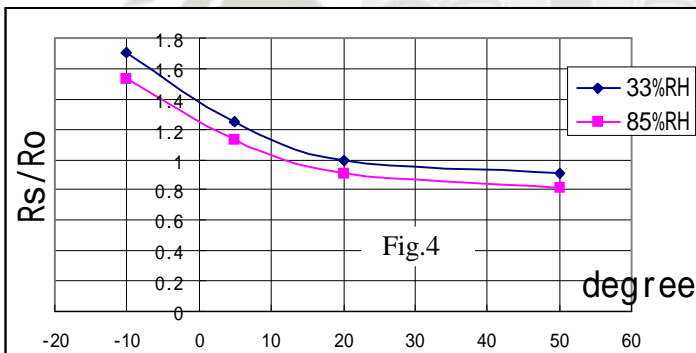


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-2 on temperature and humidity.

Ro: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in air at 33%RH and 20 degree.
Rs: sensor resistance at 1000ppm of H₂ at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-2 is difference to various kinds and various concentration gases. So,When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm liquified petroleum gas<LPG>,or 1000ppm iso-butane<i-C₄H₁₀>concentration in air and use value of Load resistance that(R_L) about 20 K Ω (5K Ω to 47 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

TECHNICAL DATA

MQ-135 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope
Stable and long life

Fast response and High sensitivity
Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃,NO_x, alcohol, Benzene, smoke,CO₂, etc.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

| Symbol | Parameter name | Technical condition | Remarks |
|----------------|---------------------|---------------------|----------|
| V _c | Circuit voltage | 5V±0.1 | AC OR DC |
| V _H | Heating voltage | 5V±0.1 | AC OR DC |
| R _L | Load resistance | can adjust | |
| R _H | Heater resistance | 33 Ω ± 5% | Room Tem |
| P _H | Heating consumption | less than 800mw | |

B. Environment condition

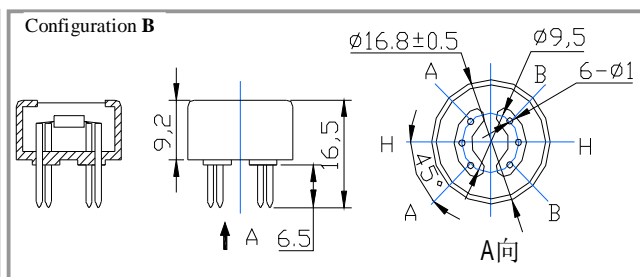
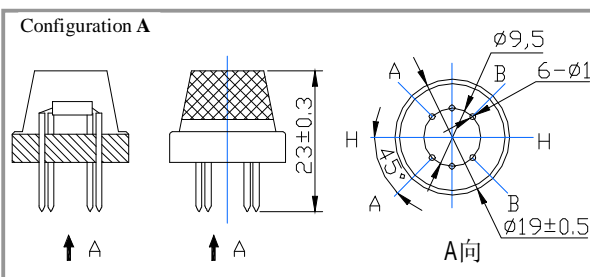
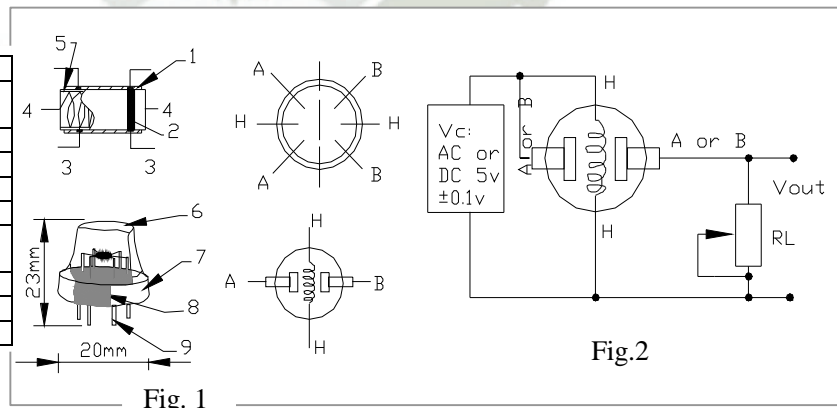
| Symbol | Parameter name | Technical condition | Remarks |
|----------------|----------------------|--|--------------------------|
| Tao | Using Tem | -10℃-45℃ | |
| Tas | Storage Tem | -20℃-70℃ | |
| R _H | Related humidity | less than 95%Rh | |
| O ₂ | Oxygen concentration | 21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity | minimum value is over 2% |

C. Sensitivity characteristic

| Symbol | Parameter name | Technical parameter | Remark 2 |
|----------------------------------|------------------------------------|---|---|
| R _s | Sensing Resistance | 30K Ω -200K Ω (100ppm NH ₃) | Detecting concentration scope: 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol |
| α (200/50) NH ₃ | Concentration Slope rate | ≤0.65 | |
| Standard Detecting Condition | Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65%±5% | V _c :5V±0.1 V _H : 5V±0.1 | |
| Preheat time | Over 24 hour | | |

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

| Parts | Materials |
|--------------------------|---|
| 1 Gas sensing layer | SnO ₂ |
| 2 Electrode | Au |
| 3 Electrode line | Pt |
| 4 Heater coil | Ni-Cr alloy |
| 5 Tubular ceramic | Al ₂ O ₃ |
| 6 Anti-explosion network | Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh) |
| 7 Clamp ring | Copper plating Ni |
| 8 Resin base | Bakelite |
| 9 Tube Pin | Copper plating Ni |



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of

sensitive components. The envelope MQ-135 has 6 pins, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-135

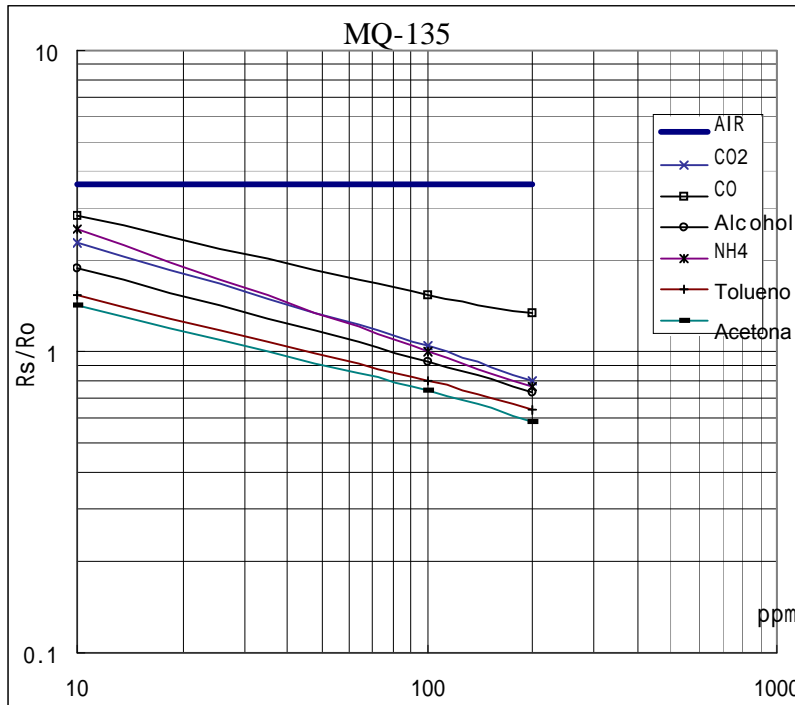


Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases.

in their: Temp: 20°C、
Humidity: 65%、
O₂ concentration 21%
RL=20k Ω

Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in the clean air.

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

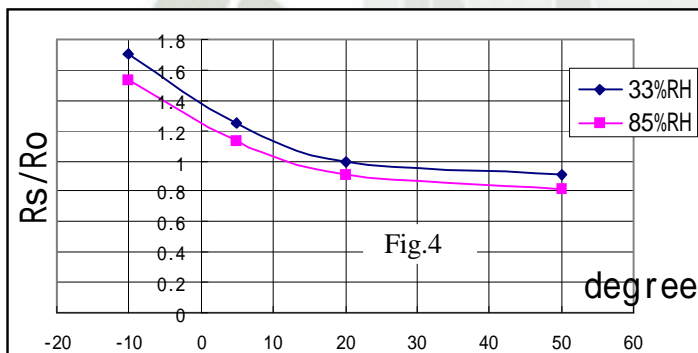


Fig.4 shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity.

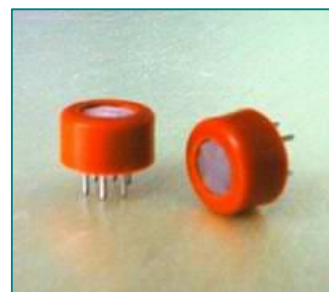
Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in air at 33%RH and 20 degree.

Rs: sensor resistance at 100ppm of NH₃ at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-135 is different to various kinds and various concentration gases. So, When using this component, sensitivity adjustment is very necessary. We recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH₃ or 50ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance that (R_L) about 20 K Ω (10K Ω to 47 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.



Notification

1 Following conditions must be prohibited

1.1 Exposed to organic silicon steam

Organic silicon steam cause sensors invalid, sensors must be avoid exposing to silicon bond, fixture, silicon latex, putty or plastic contain silicon environment

1.2 High Corrosive gas

If the sensors exposed to high concentration corrosive gas (such as H_2S , SO_x , Cl_2 , HCl etc), it will not only result in corrosion of sensors structure, also it cause sincere sensitivity attenuation.

1.3 Alkali, Alkali metals salt, halogen pollution

The sensors performance will be changed badly if sensors be sprayed polluted by alkali metals salt especially brine, or be exposed to halogen such as fluorin.

1.4 Touch water

Sensitivity of the sensors will be reduced when splattered or dipped in water.

1.5 Freezing

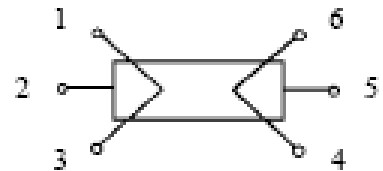
Do avoid icing on sensor's surface, otherwise sensor would lose sensitivity.

1.6 Applied voltage higher

Applied voltage on sensor should not be higher than stipulated value, otherwise it cause down-line or heater damaged, and bring on sensors' sensitivity characteristic changed badly.

1.7 Voltage on wrong pins

For 6 pins sensor, if apply voltage on 1、3 pins or 4、6 pins, it will make lead broken, and without signal when apply on 2、4 pins



2 Following conditions must be avoided

2.1 Water Condensation

Indoor conditions, slight water condensation will effect sensors performance lightly. However, if water condensation on sensors surface and keep a certain period, sensor' sensitivity will be decreased.

2.2 Used in high gas concentration

No matter the sensor is electrified or not, if long time placed in high gas concentration, if will affect sensors characteristic.

2.3 Long time storage

The sensors resistance produce reversible drift if it's stored for long time without electrify, this drift is related with storage conditions. Sensors should be stored in airproof without silicon gel bag with clean air. For the sensors with long time storage but no electrify, they need long aging time for stbility before using.

2.4 Long time exposed to adverse environment

No matter the sensors electrified or not, if exposed to adverse environment for long time, such as high humidity, high temperature, or high pollution etc, it will effect the sensors performance badly.

2.5 Vibration

Continual vibration will result in sensors down-lead response then repture. In transportation or assembling line, pneumatic screwdriver/ultrasonic welding machine can lead this vibration.

2.6 Concussion

If sensors meet strong concussion, it may lead its lead wire disconnected.

2.7 Usage

For sensor, handmade welding is optimal way. If use wave crest welding should meet the following conditions:

2.7.1 Soldering flux: Rosin soldering flux contains least chlorine

2.7.2 Speed: 1-2 Meter/ Minute

2.7.3 Warm-up temperature: $100\pm 20^{\circ}C$

2.7.4 Welding temperature: $250\pm 10^{\circ}C$

2.7.5 1 time pass wave crest welding machine

If disobey the above using terms, sensors sensitivity will be reduced.

TECHNICAL DATA

MQ-4 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to CH₄, Natural gas.
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response . * Stable and long life * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of CH₄, Natural gas, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

| Symbol | Parameter name | Technical condition | Remarks |
|----------------|---------------------|---------------------|----------|
| V _c | Circuit voltage | 5V±0.1 | AC OR DC |
| V _H | Heating voltage | 5V±0.1 | AC OR DC |
| P _L | Load resistance | 20KΩ | |
| R _H | Heater resistance | 33Ω ±5% | Room Tem |
| P _H | Heating consumption | less than 750mw | |

B. Environment condition

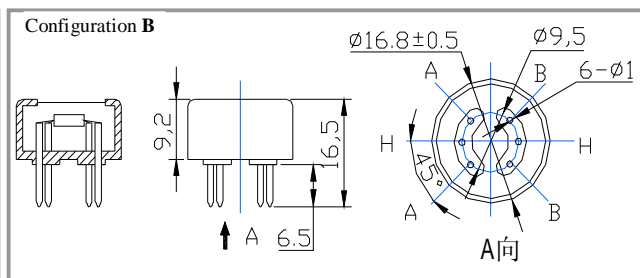
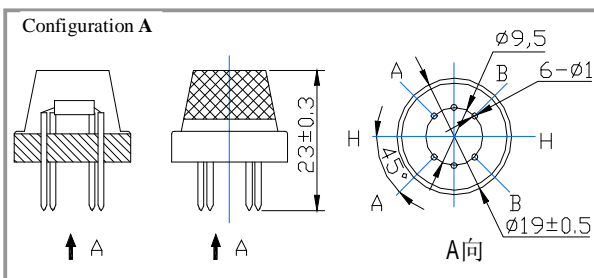
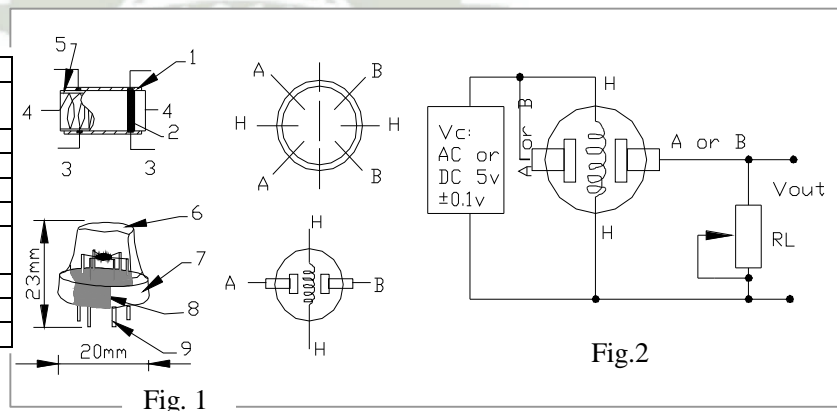
| Symbol | Parameter name | Technical condition | Remarks |
|-----------------|----------------------|--|--------------------------|
| T _{ao} | Using Tem | -10°C-50°C | |
| T _{as} | Storage Tem | -20°C-70°C | |
| R _H | Related humidity | less than 95% Rh | |
| O ₂ | Oxygen concentration | 21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity | minimum value is over 2% |

C. Sensitivity characteristic

| Symbol | Parameter name | Technical parameter | Remark 2 |
|---|-------------------------------------|---|--|
| R _s | Sensing Resistance | 10KΩ - 60KΩ (1000ppm CH ₄) | Detecting concentration scope: 200-10000ppm CH ₄ , natural gas |
| α (1000ppm/ 5000ppm CH ₄) | Concentration slope rate | ≤0.6 | |
| Standard detecting condition | Temp: 20°C ±2°C Humidity: 65%±5% | V _c :5V±0.1 V _H : 5V±0.1 | |
| Preheat time | Over 24 hour | | |

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

| Parts | Materials |
|--------------------------|---|
| 1 Gas sensing layer | SnO ₂ |
| 2 Electrode | Au |
| 3 Electrode line | Pt |
| 4 Heater coil | Ni-Cr alloy |
| 5 Tubular ceramic | Al ₂ O ₃ |
| 6 Anti-explosion network | Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh) |
| 7 Clamp ring | Copper plating Ni |
| 8 Resin base | Bakelite |
| 9 Tube Pin | Copper plating Ni |



Structure and configuration of MQ-4 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

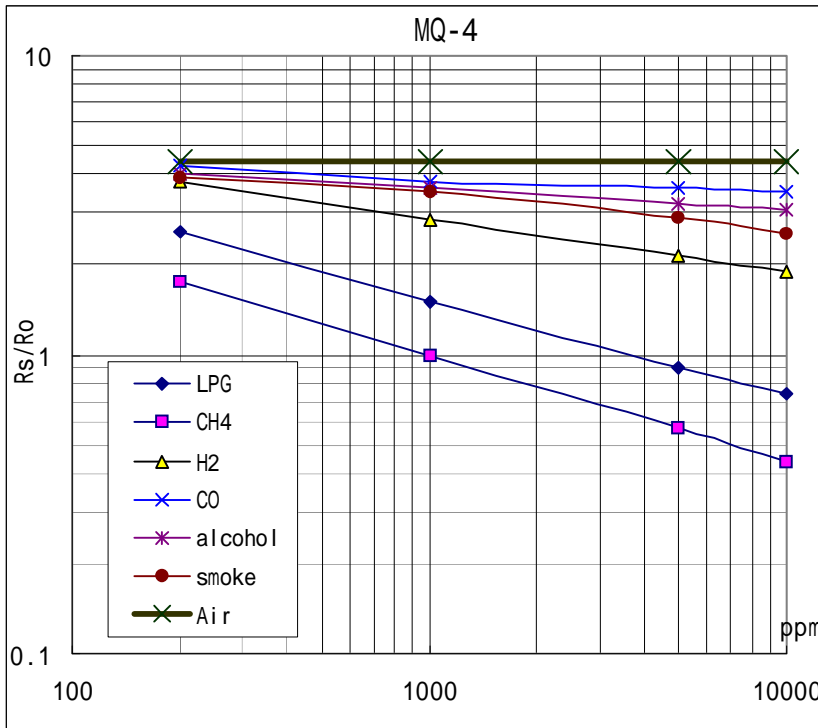


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases.

in their: Temp: 20°C、
Humidity: 65%、
O₂ concentration 21%
RL=20kΩ

Ro: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in the clean air.
Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

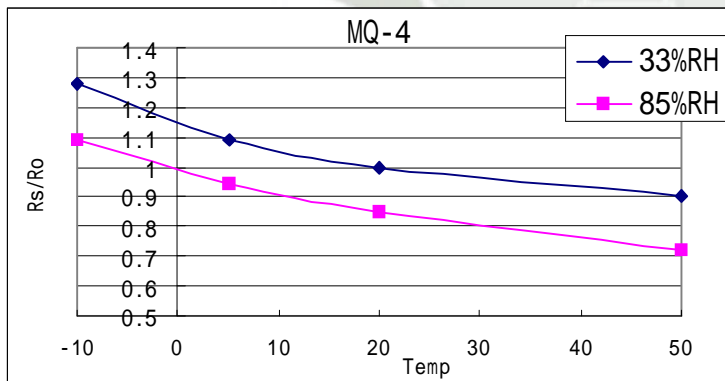


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity.

Ro: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at 33%RH and 20 degree.
Rs: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

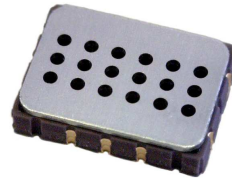
Resistance value of MQ-4 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 5000ppm of CH₄ concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 20KΩ (10KΩ to 47KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.



The MiCS-6814 is a compact MOS sensor with three fully independent sensing elements on one package.

The MiCS-6814 is a robust MEMS sensor for the detection of pollution from automobile exhausts and for agricultural/industrial odors.



Features

- Smallest footprint for compact designs (5 x 7 x 1.55 mm)
- Robust MEMS sensor for harsh environments
- High-volume manufacturing for low-cost applications
- Short lead-times

Detectable gases

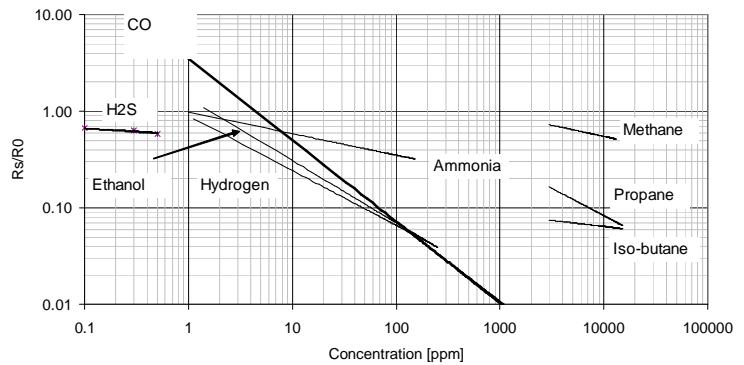
- Carbon monoxide CO 1 – 1000ppm
- Nitrogen dioxide NO₂ 0.05 – 10ppm
- Ethanol C₂H₅OH 10 – 500ppm
- Hydrogen H₂ 1 – 1000ppm
- Ammonia NH₃ 1 – 500ppm
- Methane CH₄ >1000ppm
- Propane C₃H₈ >1000ppm
- Iso-butane C₄H₁₀ >1000ppm

For more information please contact:

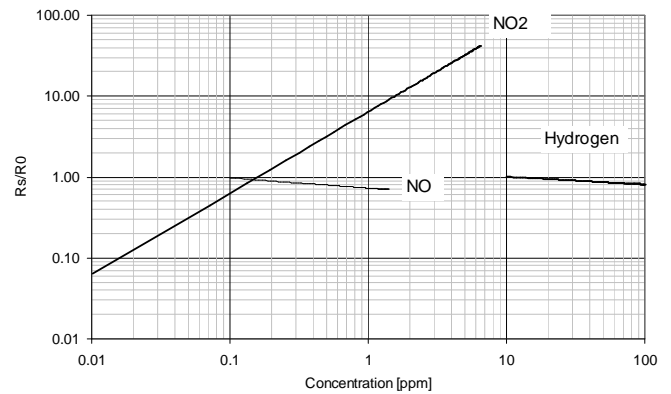
info.em@sgxsensortech.com

SGX Sensortech, Courtils 1
CH-2035 Corcelles-Cormondrèche
Switzerland

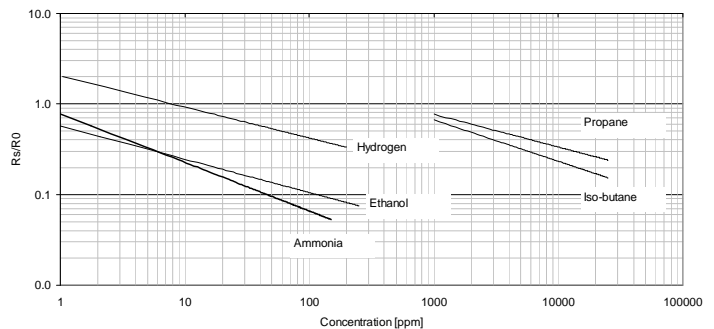
www.sgxsensortech.com



RED sensor, continuous power ON, 25°C, 50% RH



OX sensor, continuous power ON, 25°C, 50% RH



NH3 sensor, continuous power ON, 25°C, 50% RH

Performance RED sensor

| Characteristic RED sensor | Symbol | Typ | Min | Max | Unit |
|--|----------|-----|-----|------|-----------|
| Sensing resistance in air (see note 1) | R_0 | - | 100 | 1500 | $k\Omega$ |
| Typical CO detection range | FS | | 1 | 1000 | ppm |
| Sensitivity factor (see note 2) | S_{60} | - | 1.2 | 50 | - |

Performance OX sensor

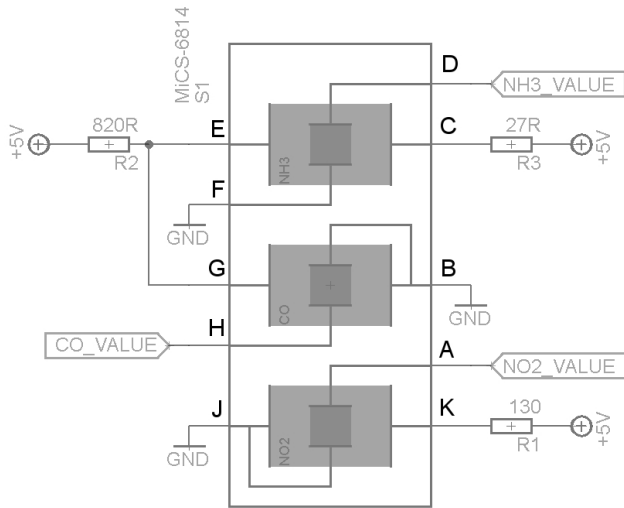
| Characteristic OX sensor | Symbol | Typ | Min | Max | Unit |
|---|--------|-----|------|-----|-----------|
| Sensing resistance in air (see note 1) | R_0 | - | 0.8 | 20 | $k\Omega$ |
| Typical NO ₂ detection range | FS | | 0.05 | 10 | ppm |
| Sensitivity factor (see note 3) | S_R | - | 2 | - | - |

Performance NH3 sensor

| Characteristic OX sensor | Symbol | Typ | Min | Max | Unit |
|---|--------|-----|-----|------|-----------|
| Sensing resistance in air (see note 1) | R_0 | - | 10 | 1500 | $k\Omega$ |
| Typical NH ₃ detection range | FS | | 1 | 300 | ppm |
| Sensitivity factor (see note 4) | S_R | - | 1.5 | 15 | - |

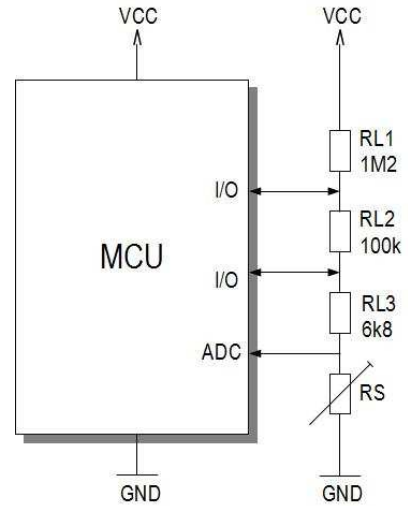
Notes:

1. Sensing resistance in air R_0 is measured under controlled ambient conditions, i.e. synthetic air at $23 \pm 5^\circ\text{C}$ and $50 \pm 10\%$ RH for RED sensor and synthetic air at $23 \pm 5^\circ\text{C}$ and $\leq 5\%$ RH for OX sensor. Sampling test.
2. Sensitivity factor is defined as R_s in air divided by R_s at 60 ppm CO. Test conditions are $23 \pm 5^\circ\text{C}$ and $50 \pm 10\%$ RH. Indicative values only. Sampling test.
3. Sensitivity factor is defined as R_s at 0.25 ppm NO₂, divided by R_s in air. Test conditions are $23 \pm 5^\circ\text{C}$ and $\leq 5\%$ RH. Indicative values only. Sampling test.
4. Sensitivity factor is defined as R_s in air divided by R_s at 1 ppm of NH₃. Test conditions are $23 \pm 5^\circ\text{C}$ and $50 \pm 10\%$ RH. Indicative values only. Sampling test.



MiCS-6814 with recommended supply circuit (top view)

R1 is 130 Ohms, R2 is 820 Ohms and R3 is 27 Ohms. These resistors are necessary to obtain the right temperatures on the three independent heaters while using a single 5 V power supply. The resulting voltages are typically $V_{HRED} = 2.4$ V, $V_{Hox} = 1.7$ V and $V_{HNH3} = 2.2$ V.

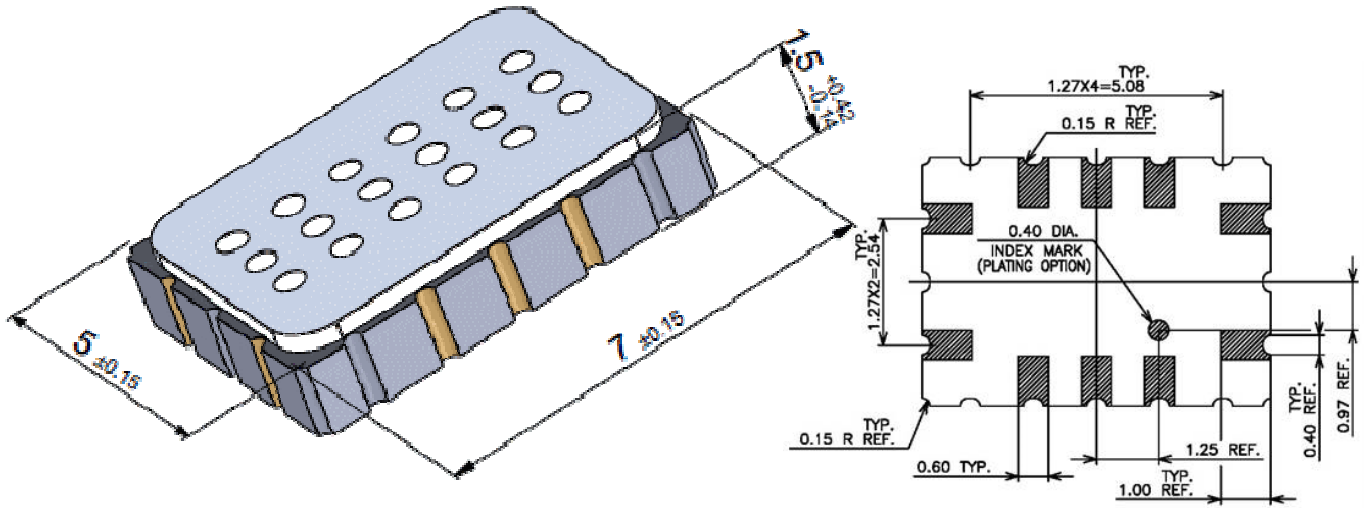


MiCS-6814 with measurement circuit (top view)

The example above shows the principle to read a resistance between 1 kOhms and 2MOhms with a 8bit A/D converter. Depending on the application and on the precision of the A/D converter, a single load resistor of 56 kOhms may be sufficient. Rload must be 820 Ohms at the lowest in order not to damage the sensitive layer.

| Parameter RED sensor/OX sensor/NH3 sensor | Symbol | Typ | Min | Max | Unit |
|--|--------|-------------|----------|----------|----------|
| Heating power | P_H | 76/43/66 | 71/30/60 | 81/50/73 | mW |
| Heating voltage | V_H | 2.4/1.7/2.2 | - | - | V |
| Heating current | I_H | 32/26/30 | - | - | mA |
| Heating resistance at nominal power | R_H | 74/66/72 | 66/59/64 | 82/73/80 | Ω |

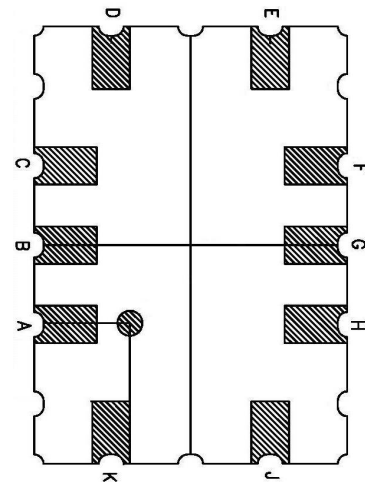
| Rating | Symbol | Value / Range | Unit |
|---|--------------|---------------|-------------|
| Maximum heater power dissipation | P_H | 88 | mW |
| Maximum sensitive layer power dissipation | P_s | 8 | mW |
| Voltage supply/Heating current | V_{supply} | 4.9 – 5.1 | V |
| Relative humidity range | RH | 5 – 95 | %RH |
| Ambient operating temperature | T_{amb} | -30 – 85 | $^{\circ}C$ |
| Storage temperature range | T_{sto} | -40 – 120 | $^{\circ}C$ |
| Storage humidity range | RH_{sto} | 5 - 95 | %RH |



Package outline dimensions

The package is compatible with SMD assembly process.

| Pin | Connection |
|-----|---------------------|
| A | Rs2 |
| B | Rh1 RED, Rs1 RED |
| C | Rh1 NH ₃ |
| D | Rs1 NH ₃ |
| E | Rh2 NH ₃ |
| F | Rs2 NH ₃ |
| G | Rh2 RED |
| H | Rs2 RED |
| J | Rh1 OX, Rs1 OX |
| K | Rh2 OX |

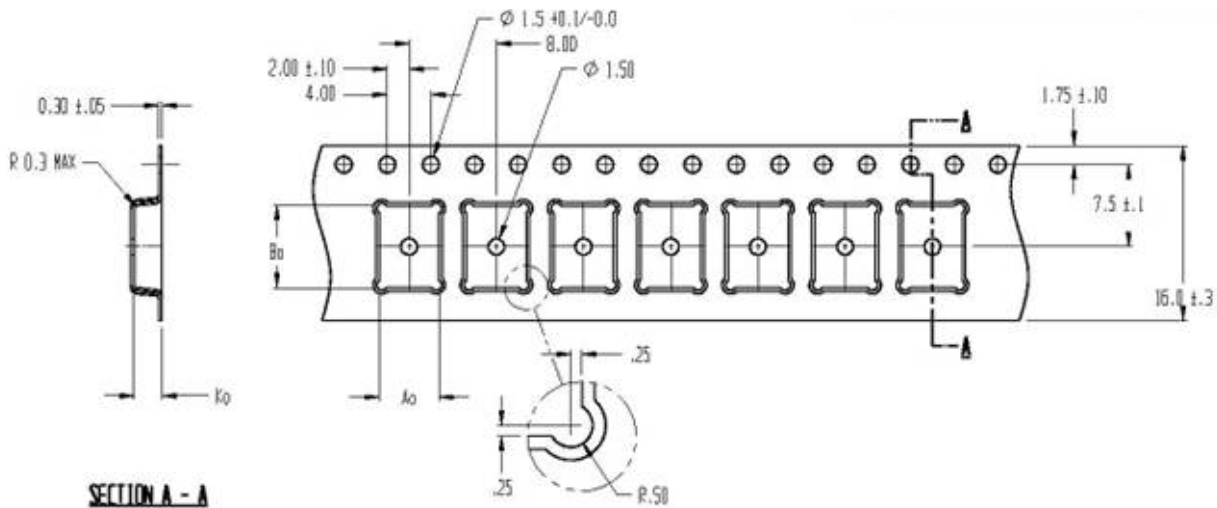


MiCS-6814 configuration (bottom view)

Sensor configuration

The silicon gas sensor structure consists of an accurately micro machined diaphragm with an embedded heating resistor and the sensing layer on top.

The MiCS-6814 includes three sensor chips with independent heaters and sensitive layers. One sensor chip detects oxidising gases (OX), the other sensor detects reducing gases (RED) and the other detects NH₃. The internal connections are shown above.

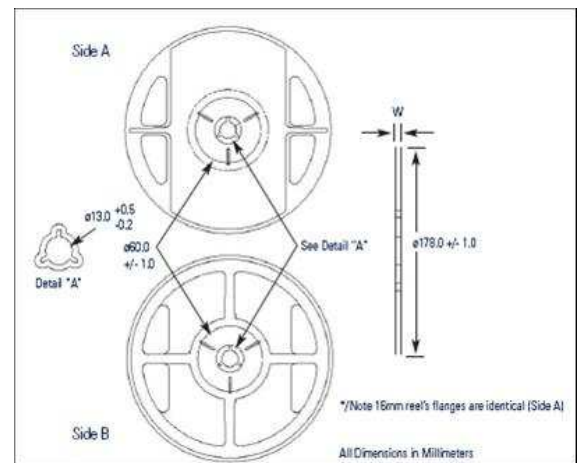


Packaging

The sensors are packaged in a tape and reel for expedition.

The sensors are placed in a carrier type. The dimensions of the cavity are 5.5 x 7.5 x 2.55 mm (the tolerance is +/- 0.2 mm).

The outside dimension of the reel is either 178 +/- mm (for a maximum of 700 sensors) or 330 + 0.25 / -4 mm (for a maximum of 2000 sensors).



IMPORTANT PRECAUTIONS:

Read the following instructions carefully before using the MiCS-6814 described here to avoid erroneous readings and to prevent the device from permanent damage.

- The sensor must be reflow soldered in a neutral atmosphere, without soldering flux vapours.
- The sensor must not be exposed to high concentrations of organic solvents, silicone vapours or cigarette-smoke in order to avoid poisoning the sensitive layer.
- Heater voltage above the specified maximum rating will destroy the sensor due to overheating.
- This sensor is to be placed in a filtered package that protects it against water and dust projections.
- SGX sensortech strongly recommends using ESD protection equipment to handle the sensor.

For more information please contact:

info.em@sgxsensortech.com

SGX Sensortech, Courtils 1
CH-2035 Corcelles-Cormondrèche
Switzerland

www.sgxsensortech.com

Whilst SGX sensortech has taken care to ensure the accuracy of the information contained herein it accepts no responsibility for the consequences of any use thereof and also reserves the right to change the specification of goods without notice. SGX sensortech accepts no liability beyond the set out in its standard conditions of sale in respect of infringement of third party patents arising from the use of tubes or other devices in accordance with information contained herein.

Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

[Amphenol:](#)

[MICS-6814](#)

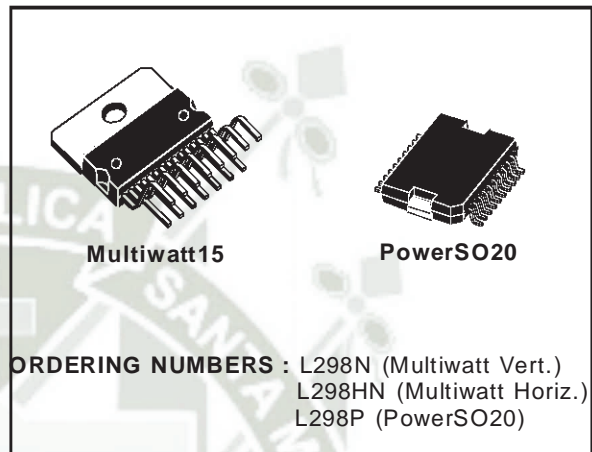


DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

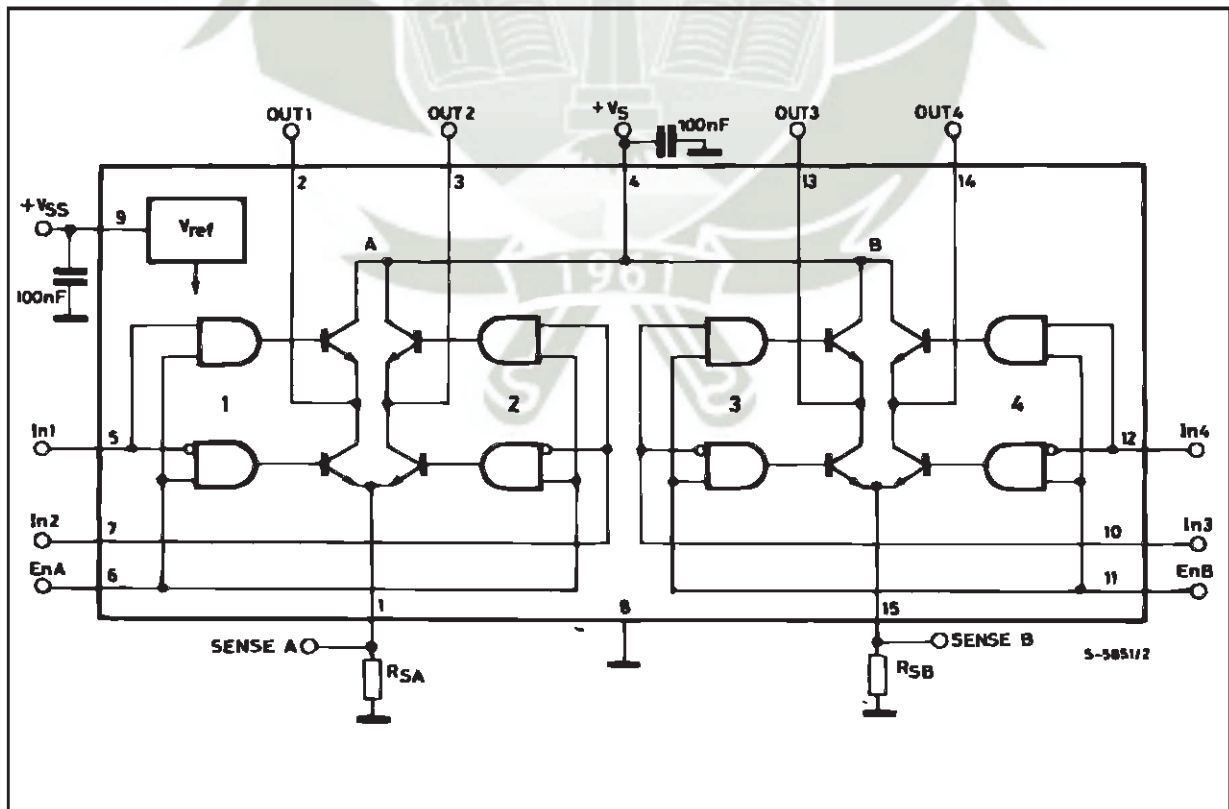
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

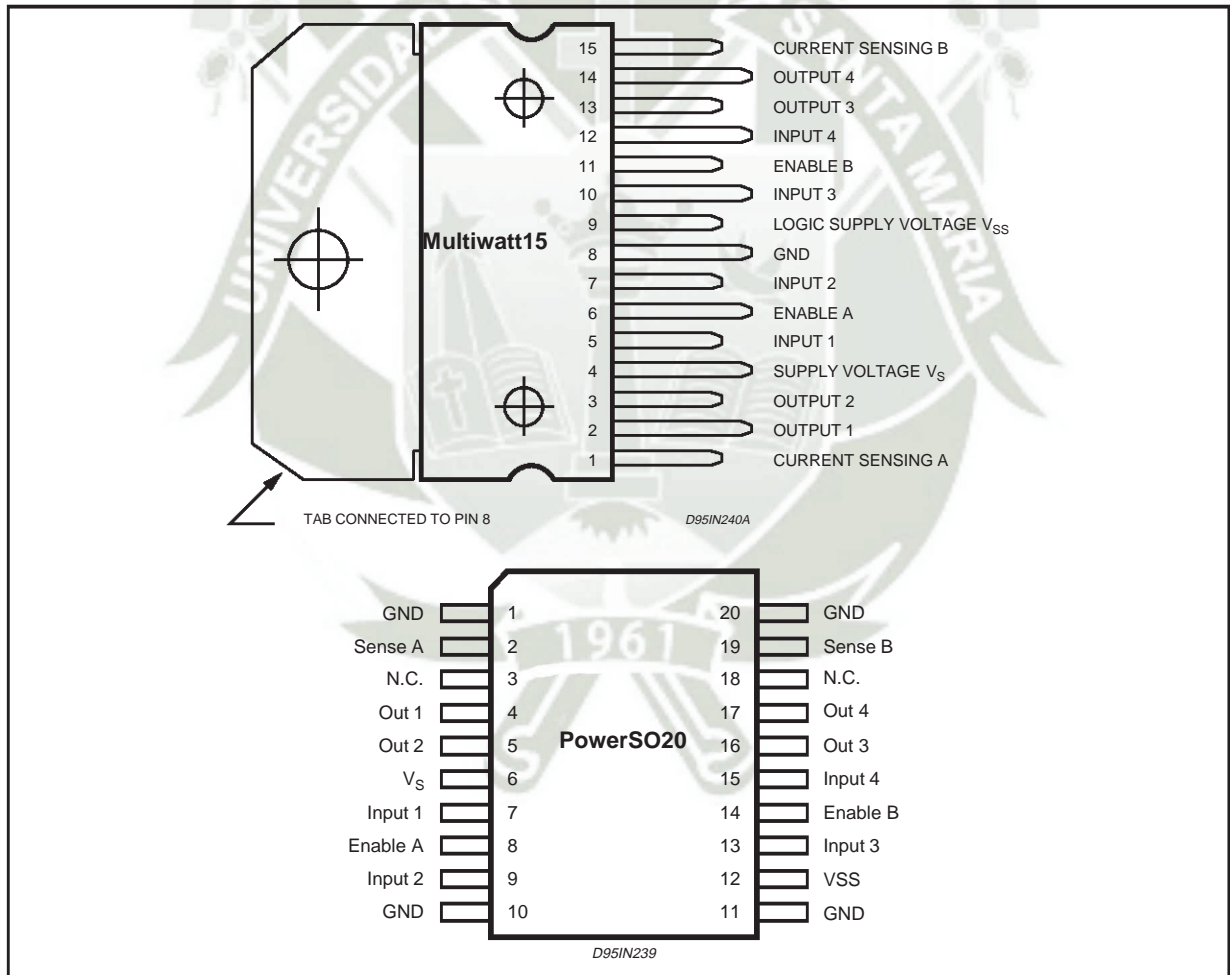
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter | Value | Unit |
|----------------|---|------------|------------|
| V_S | Power Supply | 50 | V |
| V_{SS} | Logic Supply Voltage | 7 | V |
| V_I, V_{en} | Input and Enable Voltage | -0.3 to 7 | V |
| I_O | Peak Output Current (each Channel) | | |
| | - Non Repetitive ($t = 100\mu s$) | 3 | A |
| | - Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$) | 2.5 | A |
| | -DC Operation | 2 | A |
| V_{sens} | Sensing Voltage | -1 to 2.3 | V |
| P_{tot} | Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$) | 25 | W |
| T_{op} | Junction Operating Temperature | -25 to 130 | $^\circ C$ |
| T_{stg}, T_j | Storage and Junction Temperature | -40 to 150 | $^\circ C$ |

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

| Symbol | Parameter | | PowerSO20 | Multiwatt15 | Unit |
|-----------------|-------------------------------------|------|-----------|-------------|--------------|
| $R_{th j-case}$ | Thermal Resistance Junction-case | Max. | - | 3 | $^\circ C/W$ |
| $R_{th j-amb}$ | Thermal Resistance Junction-ambient | Max. | 13 (*) | 35 | $^\circ C/W$ |

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

| MW.15 | PowerSO | Name | Function |
|--------|------------|--------------------|---|
| 1;15 | 2;19 | Sense A; Sense B | Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load. |
| 2;3 | 4;5 | Out 1; Out 2 | Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1. |
| 4 | 6 | V _S | Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground. |
| 5;7 | 7;9 | Input 1; Input 2 | TTL Compatible Inputs of the Bridge A. |
| 6;11 | 8;14 | Enable A; Enable B | TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B). |
| 8 | 1,10,11,20 | GND | Ground. |
| 9 | 12 | V _{SS} | Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground. |
| 10; 12 | 13;15 | Input 3; Input 4 | TTL Compatible Inputs of the Bridge B. |
| 13; 14 | 16;17 | Out 3; Out 4 | Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15. |
| – | 3;18 | N.C. | Not Connected |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-----------------------|--|---|----------------------|------------|-----------------|----------|
| V _S | Supply Voltage (pin 4) | Operative Condition | V _{IH} +2.5 | | 46 | V |
| V _{SS} | Logic Supply Voltage (pin 9) | | 4.5 | 5 | 7 | V |
| I _S | Quiescent Supply Current (pin 4) | V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H | | 13 50 | 22 70 | mA mA |
| | | V _{en} = L V _i = X | | | 4 | mA |
| I _{SS} | Quiescent Current from V _{SS} (pin 9) | V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H | | 24 7 | 36 12 | mA mA |
| | | V _{en} = L V _i = X | | | 6 | mA |
| V _{iL} | Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12) | | –0.3 | | 1.5 | V |
| V _{iH} | Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12) | | 2.3 | | V _{SS} | V |
| I _{iL} | Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12) | V _i = L | | | –10 | μA |
| I _{iH} | High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12) | V _i = H ≤ V _{SS} – 0.6V | | 30 | 100 | μA |
| V _{en} = L | Enable Low Voltage (pins 6, 11) | | –0.3 | | 1.5 | V |
| V _{en} = H | Enable High Voltage (pins 6, 11) | | 2.3 | | V _{SS} | V |
| I _{en} = L | Low Voltage Enable Current (pins 6, 11) | V _{en} = L | | | –10 | μA |
| I _{en} = H | High Voltage Enable Current (pins 6, 11) | V _{en} = H ≤ V _{SS} – 0.6V | | 30 | 100 | μA |
| V _{CEsat(H)} | Source Saturation Voltage | I _L = 1A I _L = 2A | 0.95 | 1.35 2 | 1.7 2.7 | V V |
| V _{CEsat(L)} | Sink Saturation Voltage | I _L = 1A (5) I _L = 2A (5) | 0.85 | 1.2 1.7 | 1.6 2.3 | V V |
| V _{CEsat} | Total Drop | I _L = 1A (5) I _L = 2A (5) | 1.80 | | 3.2 4.9 | V V |
| V _{sens} | Sensing Voltage (pins 1, 15) | | –1 (1) | | 2 | V |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-----------------------------------|-------------------------------|--|------|------|------|------|
| T ₁ (V _i) | Source Current Turn-off Delay | 0.5 V _i to 0.9 I _L (2); (4) | | 1.5 | | μs |
| T ₂ (V _i) | Source Current Fall Time | 0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4) | | 0.2 | | μs |
| T ₃ (V _i) | Source Current Turn-on Delay | 0.5 V _i to 0.1 I _L (2); (4) | | 2 | | μs |
| T ₄ (V _i) | Source Current Rise Time | 0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4) | | 0.7 | | μs |
| T ₅ (V _i) | Sink Current Turn-off Delay | 0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4) | | 0.7 | | μs |
| T ₆ (V _i) | Sink Current Fall Time | 0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4) | | 0.25 | | μs |
| T ₇ (V _i) | Sink Current Turn-on Delay | 0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4) | | 1.6 | | μs |
| T ₈ (V _i) | Sink Current Rise Time | 0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4) | | 0.2 | | μs |
| f _c (V _i) | Commutation Frequency | I _L = 2A | | 25 | 40 | KHz |
| T ₁ (V _{en}) | Source Current Turn-off Delay | 0.5 V _{en} to 0.9 I _L (2); (4) | | 3 | | μs |
| T ₂ (V _{en}) | Source Current Fall Time | 0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4) | | 1 | | μs |
| T ₃ (V _{en}) | Source Current Turn-on Delay | 0.5 V _{en} to 0.1 I _L (2); (4) | | 0.3 | | μs |
| T ₄ (V _{en}) | Source Current Rise Time | 0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4) | | 0.4 | | μs |
| T ₅ (V _{en}) | Sink Current Turn-off Delay | 0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4) | | 2.2 | | μs |
| T ₆ (V _{en}) | Sink Current Fall Time | 0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4) | | 0.35 | | μs |
| T ₇ (V _{en}) | Sink Current Turn-on Delay | 0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4) | | 0.25 | | μs |
| T ₈ (V _{en}) | Sink Current Rise Time | 0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4) | | 0.1 | | μs |

- 1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V_{sens} min ≥ -0.5 V.
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

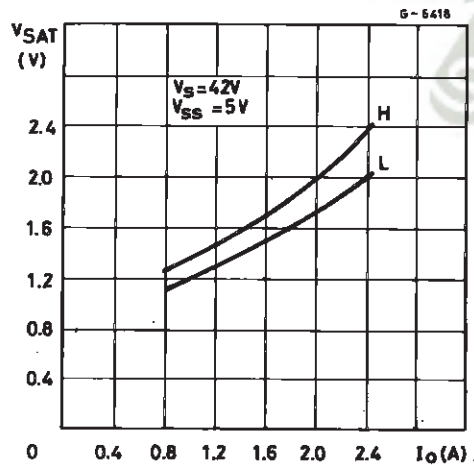
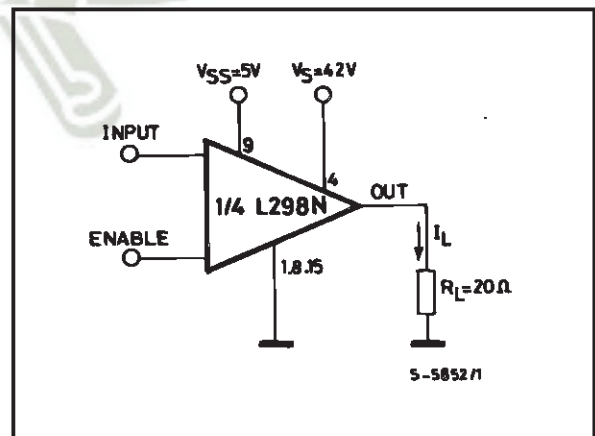


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note: For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

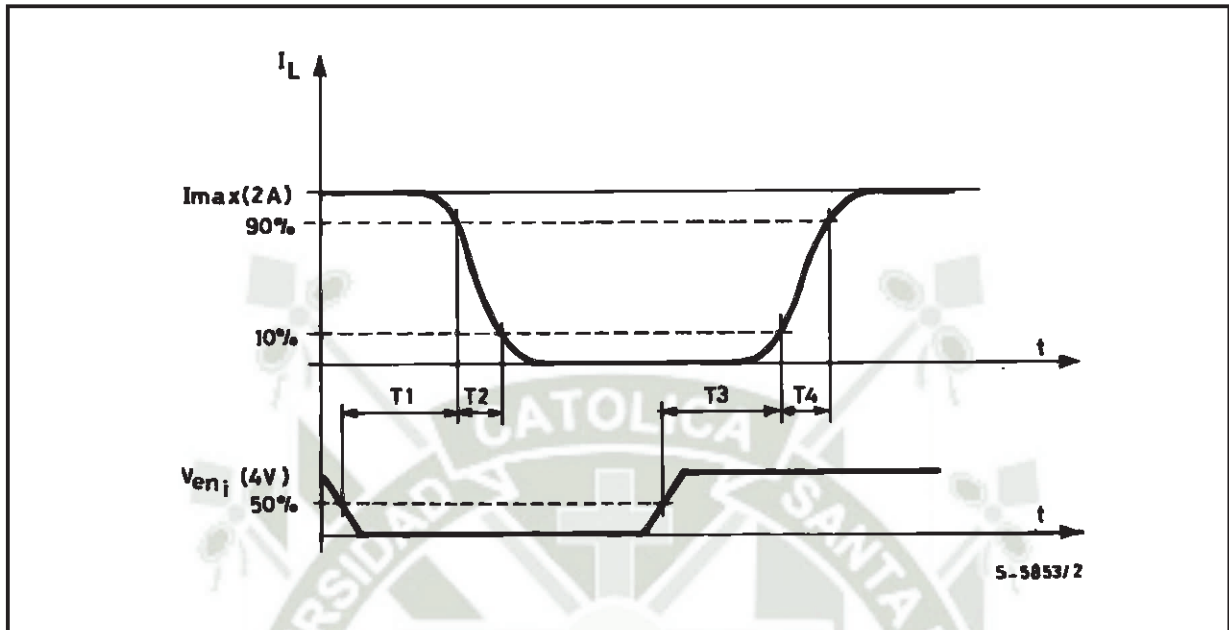
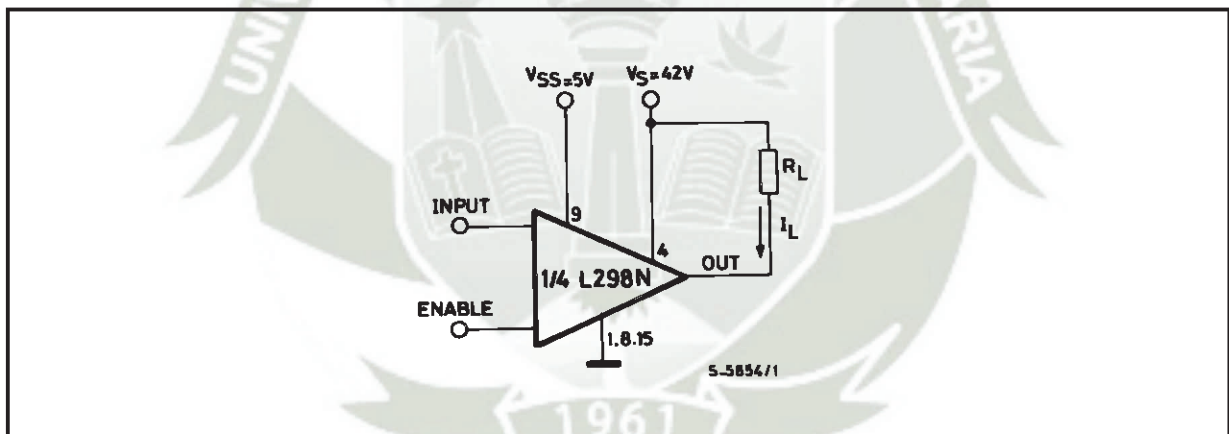


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

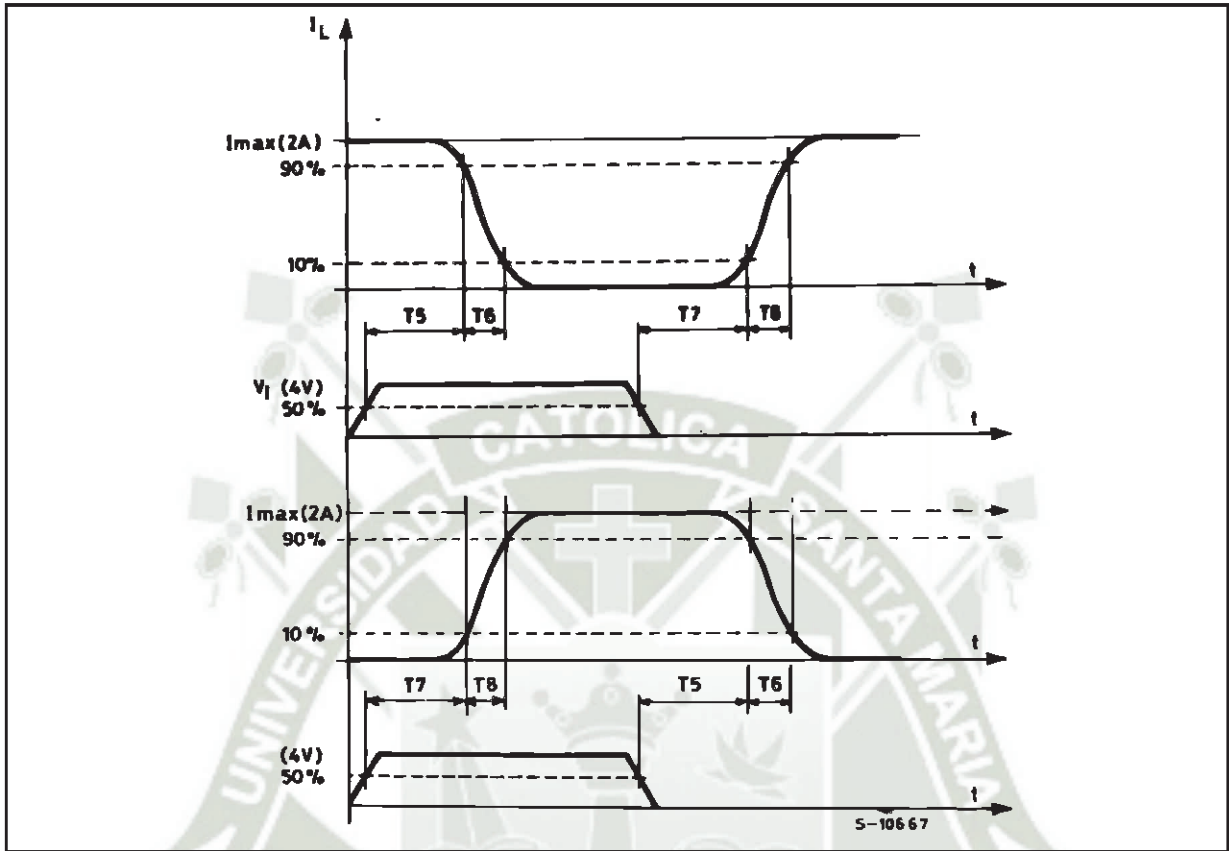


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

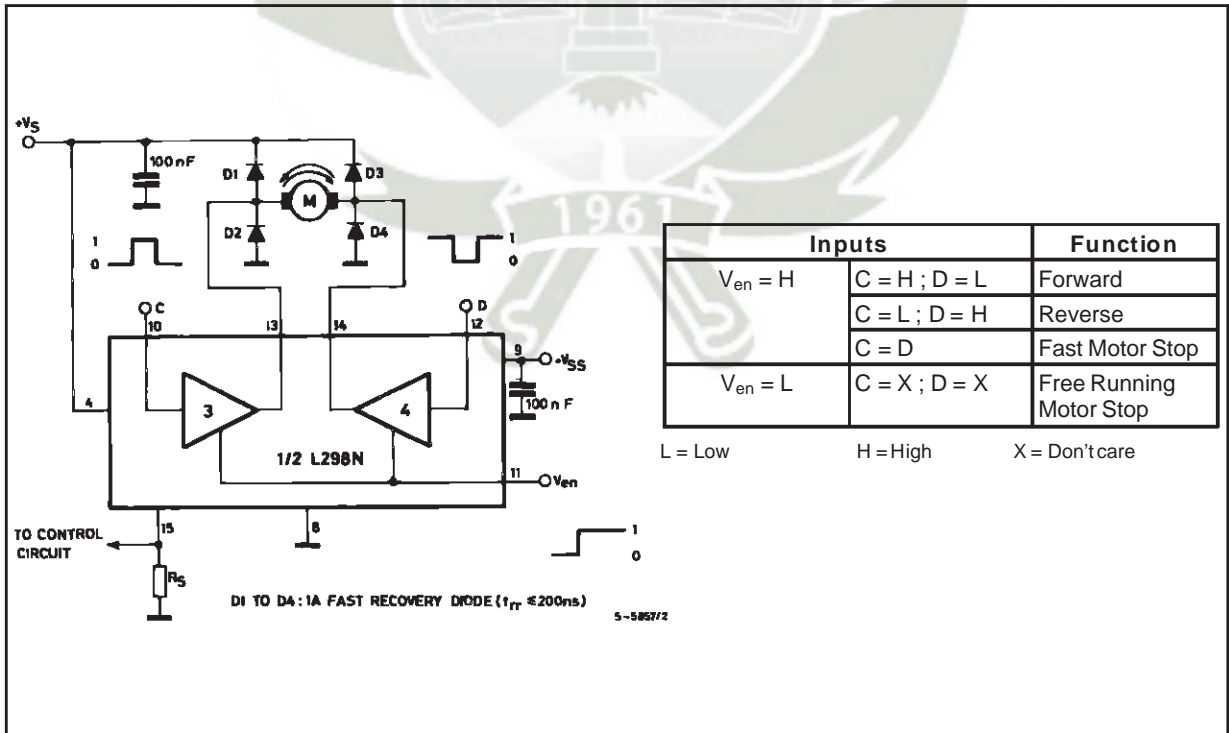
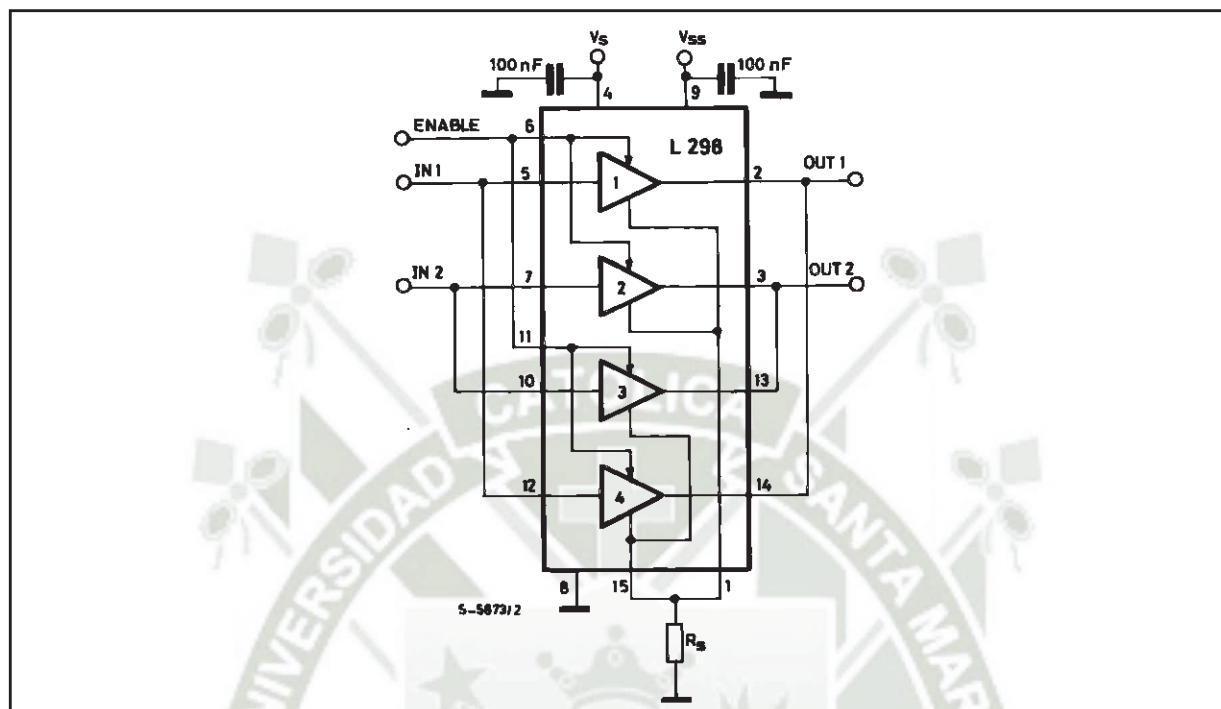


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In_1 ; In_2 ; En_A and In_3 ; In_4 ; En_B . The In inputs set the bridge state when The En input is high; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_S and V_{SS} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_S that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{tr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a V_F as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

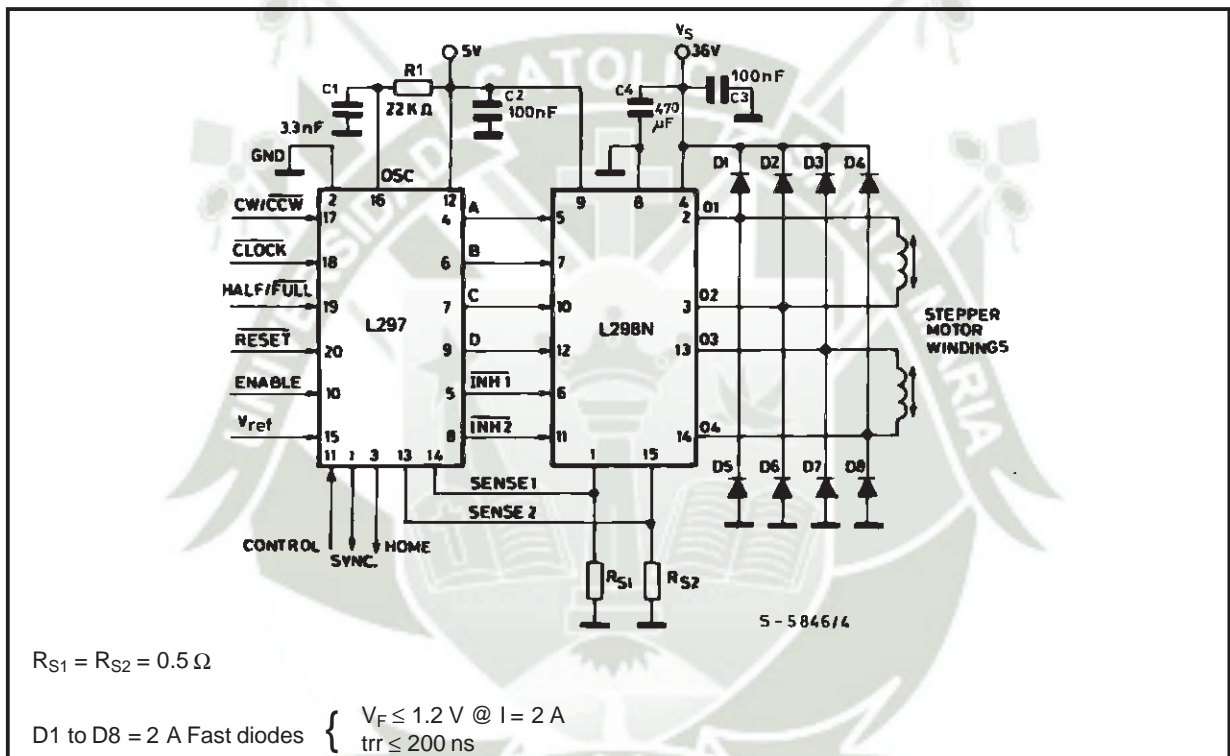


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

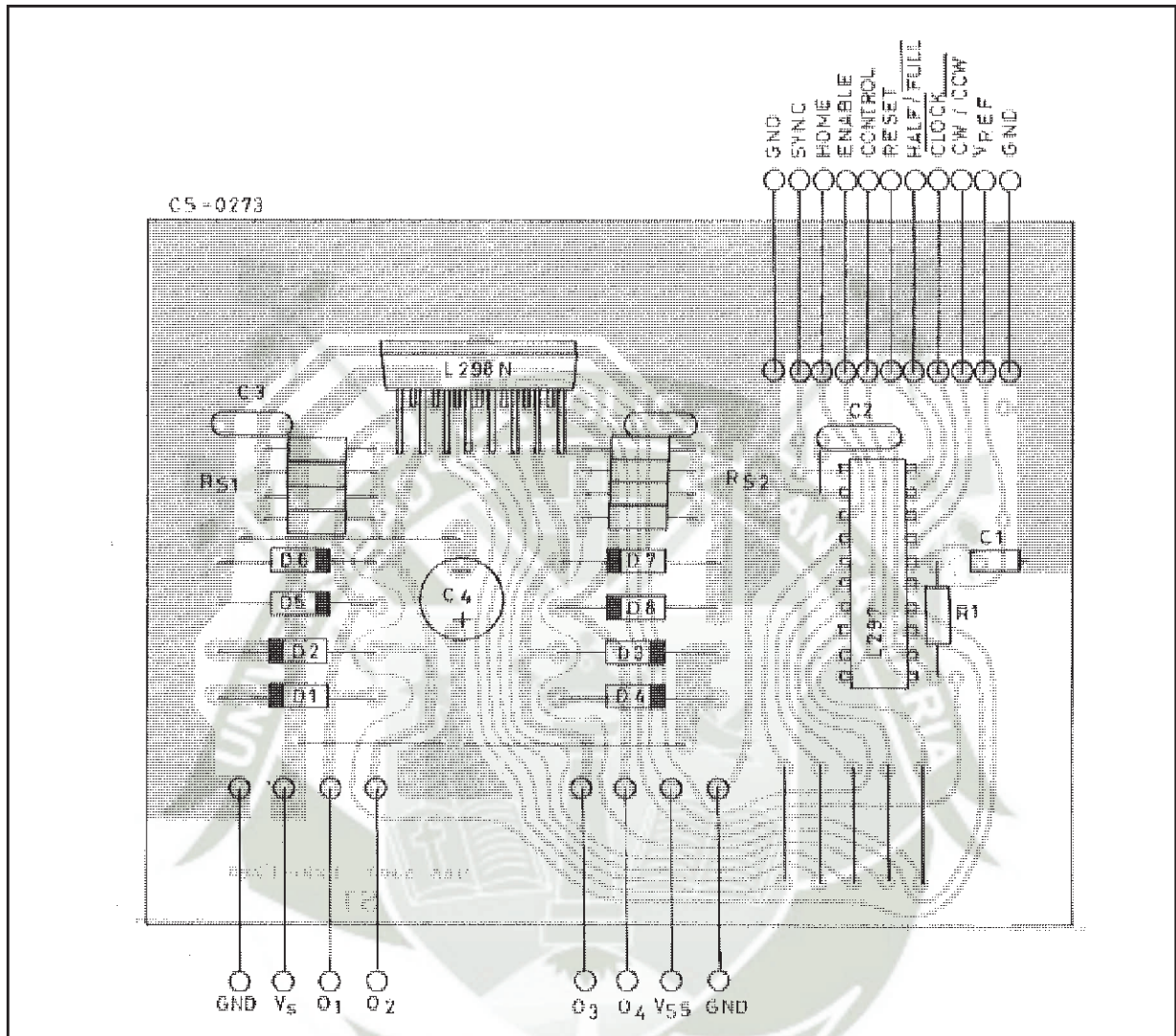
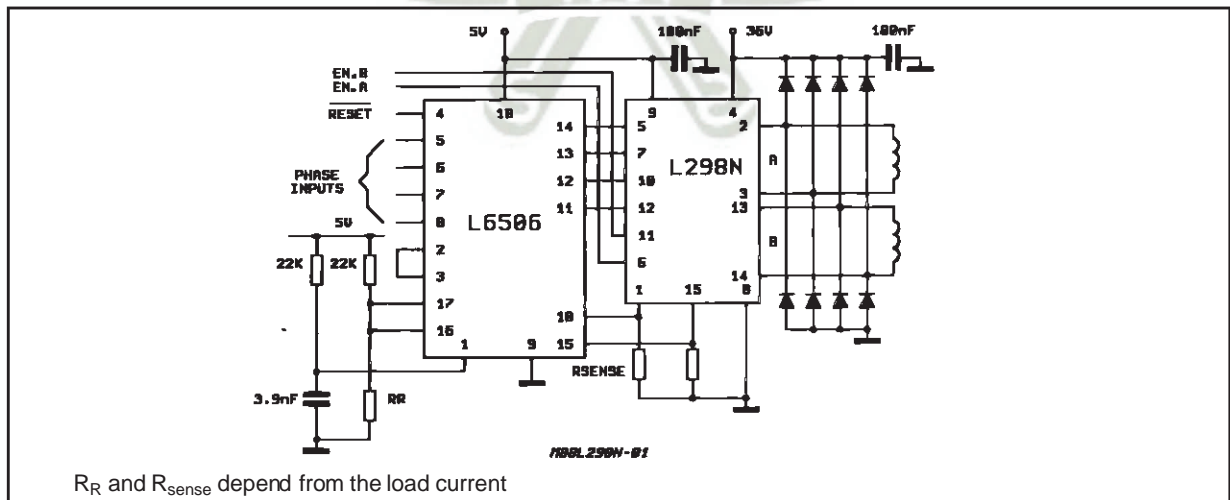
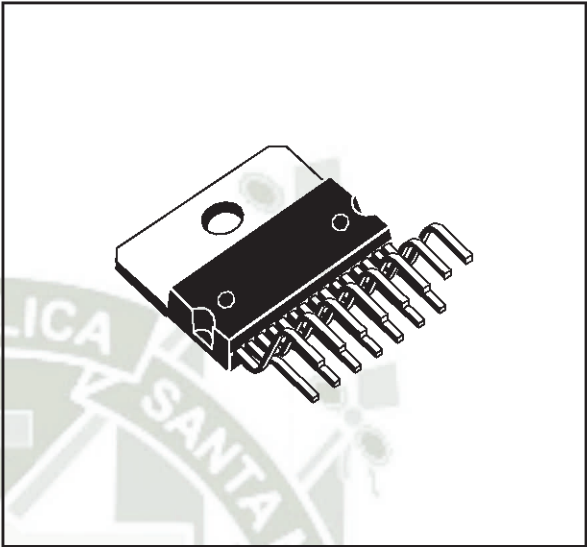


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.

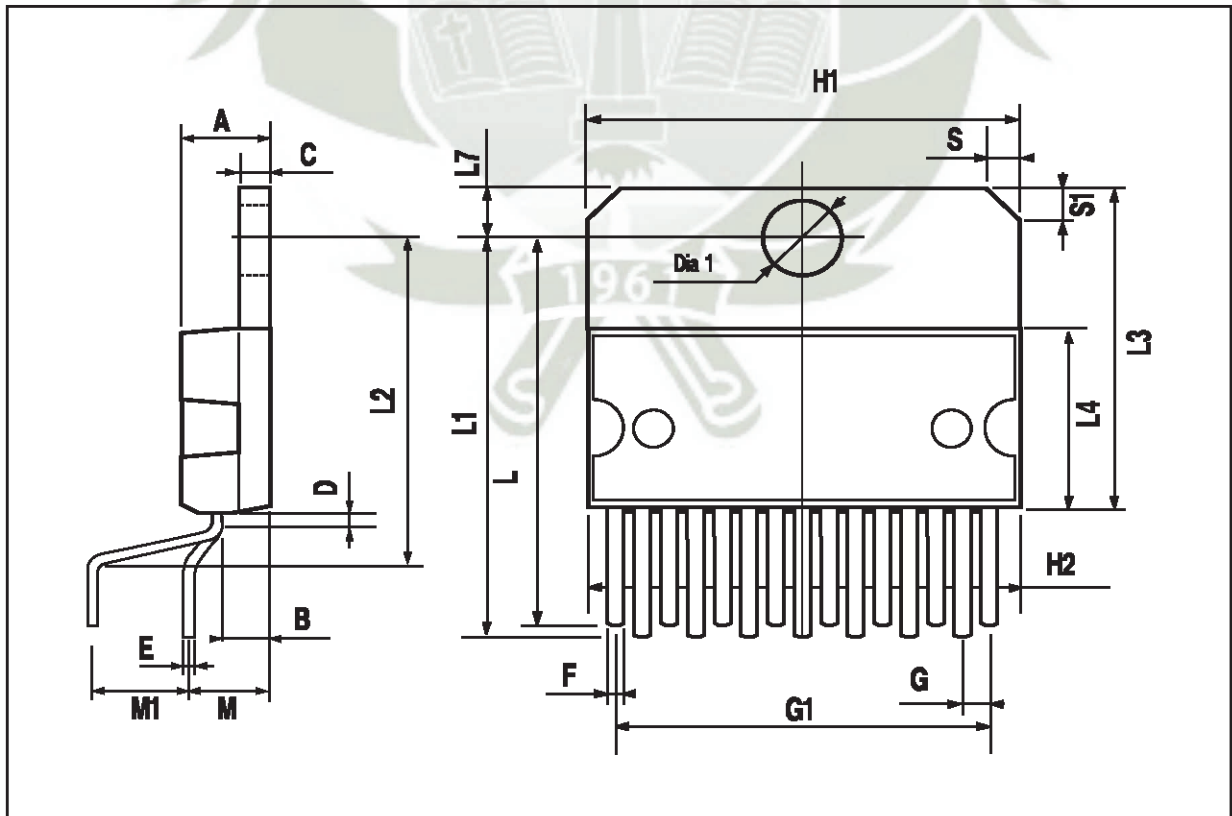


| DIM. | mm | | | inch | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | MIN. | TYP. | MAX. | MIN. | TYP. | MAX. |
| A | | | 5 | | | 0.197 |
| B | | | 2.65 | | | 0.104 |
| C | | | 1.6 | | | 0.063 |
| D | | 1 | | | 0.039 | |
| E | 0.49 | | 0.55 | 0.019 | | 0.022 |
| F | 0.66 | | 0.75 | 0.026 | | 0.030 |
| G | 1.02 | 1.27 | 1.52 | 0.040 | 0.050 | 0.060 |
| G1 | 17.53 | 17.78 | 18.03 | 0.690 | 0.700 | 0.710 |
| H1 | 19.6 | | | 0.772 | | |
| H2 | | | 20.2 | | | 0.795 |
| L | 21.9 | 22.2 | 22.5 | 0.862 | 0.874 | 0.886 |
| L1 | 21.7 | 22.1 | 22.5 | 0.854 | 0.870 | 0.886 |
| L2 | 17.65 | | 18.1 | 0.695 | | 0.713 |
| L3 | 17.25 | 17.5 | 17.75 | 0.679 | 0.689 | 0.699 |
| L4 | 10.3 | 10.7 | 10.9 | 0.406 | 0.421 | 0.429 |
| L7 | 2.65 | | 2.9 | 0.104 | | 0.114 |
| M | 4.25 | 4.55 | 4.85 | 0.167 | 0.179 | 0.191 |
| M1 | 4.63 | 5.08 | 5.53 | 0.182 | 0.200 | 0.218 |
| S | 1.9 | | 2.6 | 0.075 | | 0.102 |
| S1 | 1.9 | | 2.6 | 0.075 | | 0.102 |
| Dia1 | 3.65 | | 3.85 | 0.144 | | 0.152 |

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

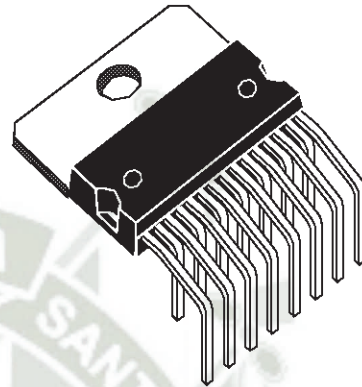


Multiwatt15 V

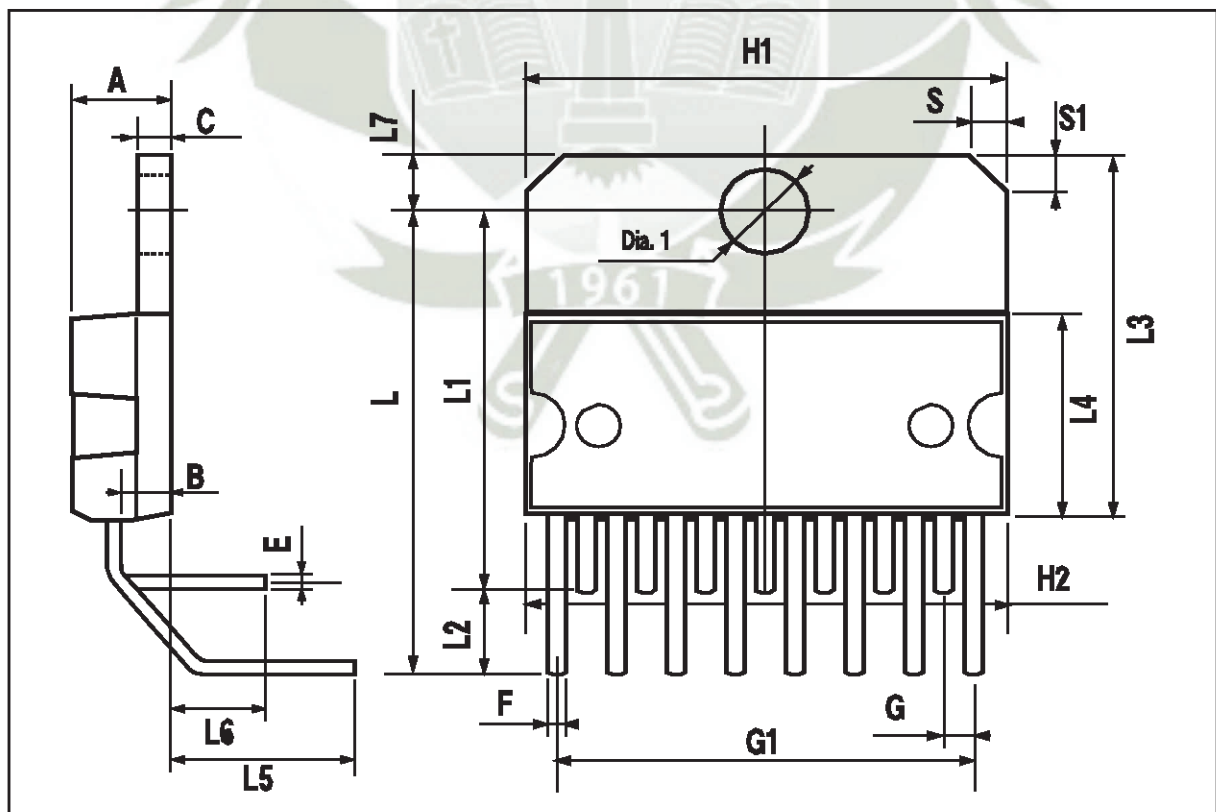


| DIM. | mm | | | inch | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | MIN. | TYP. | MAX. | MIN. | TYP. | MAX. |
| A | | | 5 | | | 0.197 |
| B | | | 2.65 | | | 0.104 |
| C | | | 1.6 | | | 0.063 |
| E | 0.49 | | 0.55 | 0.019 | | 0.022 |
| F | 0.66 | | 0.75 | 0.026 | | 0.030 |
| G | 1.14 | 1.27 | 1.4 | 0.045 | 0.050 | 0.055 |
| G1 | 17.57 | 17.78 | 17.91 | 0.692 | 0.700 | 0.705 |
| H1 | 19.6 | | | 0.772 | | |
| H2 | | | 20.2 | | | 0.795 |
| L | | 20.57 | | | 0.810 | |
| L1 | | 18.03 | | | 0.710 | |
| L2 | | 2.54 | | | 0.100 | |
| L3 | 17.25 | 17.5 | 17.75 | 0.679 | 0.689 | 0.699 |
| L4 | 10.3 | 10.7 | 10.9 | 0.406 | 0.421 | 0.429 |
| L5 | | 5.28 | | | 0.208 | |
| L6 | | 2.38 | | | 0.094 | |
| L7 | 2.65 | | 2.9 | 0.104 | | 0.114 |
| S | 1.9 | | 2.6 | 0.075 | | 0.102 |
| S1 | 1.9 | | 2.6 | 0.075 | | 0.102 |
| Dia1 | 3.65 | | 3.85 | 0.144 | | 0.152 |

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



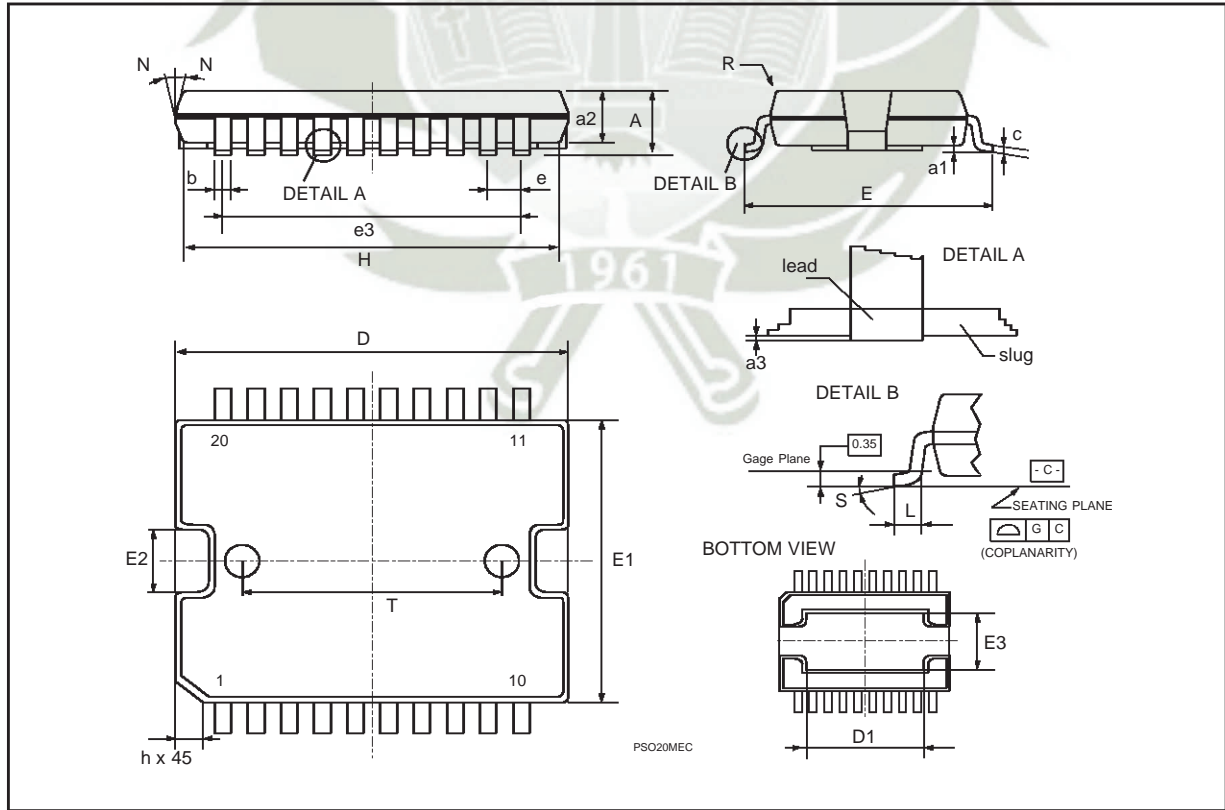
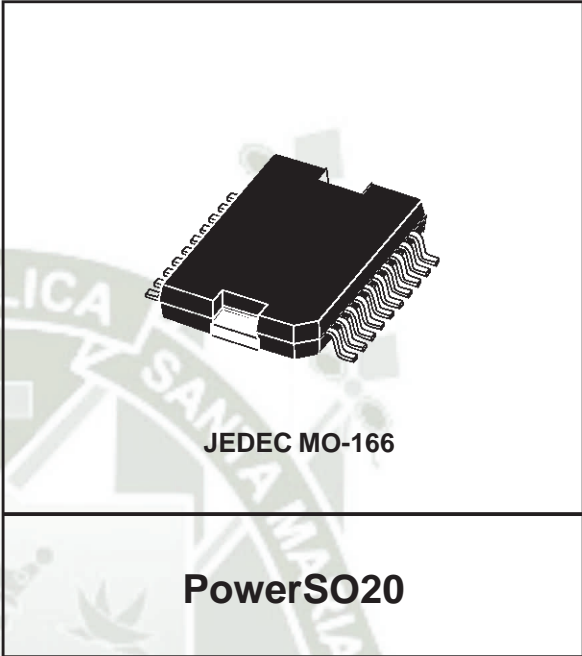
Multiwatt15 H



| DIM. | mm | | | inch | | |
|--------|------------|-------|------|-------|-------|-------|
| | MIN. | TYP. | MAX. | MIN. | TYP. | MAX. |
| A | | | 3.6 | | | 0.142 |
| a1 | 0.1 | | 0.3 | 0.004 | | 0.012 |
| a2 | | | 3.3 | | | 0.130 |
| a3 | 0 | | 0.1 | 0.000 | | 0.004 |
| b | 0.4 | | 0.53 | 0.016 | | 0.021 |
| c | 0.23 | | 0.32 | 0.009 | | 0.013 |
| D (1) | 15.8 | | 16 | 0.622 | | 0.630 |
| D1 | 9.4 | | 9.8 | 0.370 | | 0.386 |
| E | 13.9 | | 14.5 | 0.547 | | 0.570 |
| e | | 1.27 | | | 0.050 | |
| e3 | | 11.43 | | | 0.450 | |
| E1 (1) | 10.9 | | 11.1 | 0.429 | | 0.437 |
| E2 | | | 2.9 | | | 0.114 |
| E3 | 5.8 | | 6.2 | 0.228 | | 0.244 |
| G | 0 | | 0.1 | 0.000 | | 0.004 |
| H | 15.5 | | 15.9 | 0.610 | | 0.626 |
| h | | | 1.1 | | | 0.043 |
| L | 0.8 | | 1.1 | 0.031 | | 0.043 |
| N | 10° (max.) | | | | | |
| S | 8° (max.) | | | | | |
| T | | 10 | | | 0.394 | |

(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
 - Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics
© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

<http://www.st.com>

Single chip 2.4 GHz Transceiver

nRF24L01

FEATURES

- True single chip GFSK transceiver
- Complete OSI Link Layer in hardware
- Enhanced ShockBurst™
- Auto ACK & retransmit
- Address and CRC computation
- On the air data rate 1 or 2Mbps
- Digital interface (SPI) speed 0-8 Mbps
- 125 RF channel operation
- Short switching time enable frequency hopping
- Fully RF compatible with nRF24XX
- 5V tolerant signal input pads
- 20-pin package (QFN20 4x4mm)
- Uses ultra low cost +/- 60 ppm crystal
- Uses low cost chip inductors and 2-layer PCB
- Power supply range: 1.9 to 3.6 V

APPLICATIONS

- Wireless mouse, keyboard, joystick
- Keyless entry
- Wireless data communication
- Alarm and security systems
- Home automation
- Surveillance
- Automotive
- Telemetry
- Intelligent sports equipment
- Industrial sensors
- Toys

GENERAL DESCRIPTION

nRF24L01 is a single chip radio transceiver for the world wide 2.4 - 2.5 GHz ISM band. The transceiver consists of a fully integrated frequency synthesizer, a power amplifier, a crystal oscillator, a demodulator, modulator and Enhanced ShockBurst™ protocol engine. Output power, frequency channels, and protocol setup are easily programmable through a SPI interface. Current consumption is very low, only 9.0mA at an output power of -6dBm and 12.3mA in RX mode. Built-in Power Down and Standby modes makes power saving easily realizable.

QUICK REFERENCE DATA

| Parameter | Value | Unit |
|---|------------|------|
| Minimum supply voltage | 1.9 | V |
| Maximum output power | 0 | dBm |
| Maximum data rate | 2000 | kbps |
| Supply current in TX mode @ 0dBm output power | 11.3 | mA |
| Supply current in RX mode @ 2000 kbps | 12.3 | mA |
| Temperature range | -40 to +85 | °C |
| Sensitivity @ 1000 kbps | -85 | dBm |
| Supply current in Power Down mode | 900 | nA |

Table 1 nRF24L01 quick reference data



| Type Number | Description | Version |
|----------------|--|---------|
| nRF24L01 | 20 pin QFN 4x4, RoHS & SS-00259 compliant | D |
| nRF24L01 IC | Bare Dice | D |
| nRF24L01-EVKIT | Evaluation kit (2 test PCB, 2 configuration PCB, SW) | 1.0 |

Table 2 nRF24L01 ordering information

BLOCK DIAGRAM

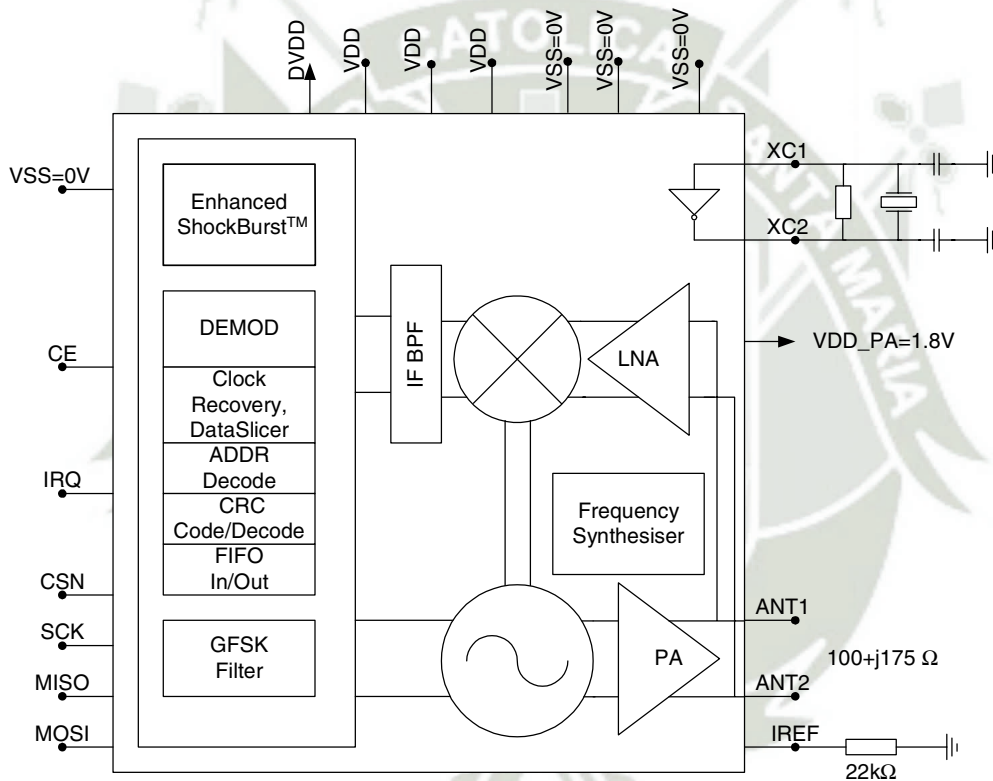


Figure 1 nRF24L01 with external components.



PIN FUNCTIONS

| Pin | Name | Pin function | Description |
|-----|--------|----------------|---|
| 1 | CE | Digital Input | Chip Enable Activates RX or TX mode |
| 2 | CSN | Digital Input | SPI Chip Select |
| 3 | SCK | Digital Input | SPI Clock |
| 4 | MOSI | Digital Input | SPI Slave Data Input |
| 5 | MISO | Digital Output | SPI Slave Data Output, with tri-state option |
| 6 | IRQ | Digital Output | Maskable interrupt pin |
| 7 | VDD | Power | Power Supply (+3V DC) |
| 8 | VSS | Power | Ground (0V) |
| 9 | XC2 | Analog Output | Crystal Pin 2 |
| 10 | XC1 | Analog Input | Crystal Pin 1 |
| 11 | VDD_PA | Power Output | Power Supply (+1.8V) to Power Amplifier |
| 12 | ANT1 | RF | Antenna interface 1 |
| 13 | ANT2 | RF | Antenna interface 2 |
| 14 | VSS | Power | Ground (0V) |
| 15 | VDD | Power | Power Supply (+3V DC) |
| 16 | IREF | Analog Input | Reference current |
| 17 | VSS | Power | Ground (0V) |
| 18 | VDD | Power | Power Supply (+3V DC) |
| 19 | DVDD | Power Output | Positive Digital Supply output for de-coupling purposes |
| 20 | VSS | Power | Ground (0V) |

Table 3 nRF24L01 pin function

PIN ASSIGNMENT



Figure 2 nRF24L01 pin assignment (top view) for a QFN20 4x4 package.



ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Conditions: VDD = +3V, VSS = 0V, T_A = - 40°C to + 85°C

| Symbol | Parameter (condition) | Notes | Min. | Typ. | Max. | Units |
|------------------------------|---|--------------|----------|------|--------|-------|
| Operating conditions | | | | | | |
| VDD | Supply voltage | | 1.9 | 3.0 | 3.6 | V |
| TEMP | Operating Temperature | | -40 | +27 | +85 | °C |
| Digital input pin | | | | | | |
| V _{IH} | HIGH level input voltage | ¹ | 0.7VDD | | 5.25 | V |
| V _{IL} | LOW level input voltage | | VSS | | 0.3VDD | V |
| Digital output pin | | | | | | |
| V _{OH} | HIGH level output voltage (I _{OH} =-0.25mA) | | VDD- 0.3 | | VDD | V |
| V _{OL} | LOW level output voltage (I _{OL} =0.25mA) | | VSS | | 0.3 | V |
| General RF conditions | | | | | | |
| f _{OP} | Operating frequency | ² | 2400 | | 2525 | MHz |
| f _{XTAL} | Crystal frequency | | | 16 | | MHz |
| Δf _{1M} | Frequency deviation @ 1000kbps | | | ±160 | | kHz |
| Δf _{2M} | Frequency deviation @ 2000kbps | | | ±320 | | kHz |
| R _{GFSK} | Data rate ShockBurst™ | | >0 | | 2000 | kbps |
| F _{CHANNEL} | Channel spacing @ 1000kbps | | | 1 | | MHz |
| F _{CHANNEL} | Channel spacing @ 2000kbps | | | 2 | | MHz |
| Transmitter operation | | | | | | |
| P _{RF} | Maximum Output Power | ³ | | 0 | +4 | dBm |
| P _{RFC} | RF Power Control Range | | 16 | 18 | 20 | dB |
| P _{RFCR} | RF Power Accuracy | | | | ±4 | dB |
| P _{BW} | 20dB Bandwidth for Modulated Carrier (2000kbps) | | | 1800 | 2000 | kHz |
| P _{RF1} | 1 st Adjacent Channel Transmit Power 2MHz | | | | -20 | dBm |
| P _{RF2} | 2 nd Adjacent Channel Transmit Power 4MHz | | | | -50 | dBm |
| I _{VDD} | Supply current @ 0dBm output power | ⁴ | | 11.3 | | mA |
| I _{VDD} | Supply current @ -18dBm output power | | | 7.0 | | mA |
| I _{VDD} | Average Supply current @ -6dBm output power, Enhanced ShockBurst™ | ⁵ | | 0.05 | | mA |
| I _{VDD} | Supply current in Standby-I mode | ⁶ | | 32 | | μA |
| I _{VDD} | Supply current in power down | | | 900 | | nA |

¹ All digital inputs handle up to 5.25V signal inputs. Keep in mind that the VDD of the nRF24L01 must match the V_{IH} of the driving device for output pins.

² Usable band is determined by local regulations

³ Antenna load impedance = 15Ω+j88Ω

⁴ Antenna load impedance = 15Ω+j88Ω. Effective data rate 1000kbps or 2000 kbps

⁵ Antenna load impedance = 15Ω+j88Ω. Effective data rate 10kbps and full packets

⁶ Given for a 12pF crystal. Current when using external clock is dependent on signal swing.



| Receiver operation | | | | | | |
|--------------------|---|---------------|--|------------------|--|-----|
| I_{VDD} | Supply current one channel 2000kbps | | | 12.3 | | mA |
| I_{VDD} | Supply current one channel 1000kbps | | | 11.8 | | mA |
| RX_{SENS} | Sensitivity at 0.1%BER (@2000kbps) | | | -82 | | dBm |
| RX_{SENS} | Sensitivity at 0.1%BER (@1000kbps) | | | -85 | | dBm |
| C/I_{CO} | C/I Co-channel (@2000kbps) | ⁷ | | $7^8/11^9$ | | dB |
| C/I_{1ST} | 1 st Adjacent Channel Selectivity C/I 2MHz | | | 1/4 | | dB |
| C/I_{2ND} | 2 nd Adjacent Channel Selectivity C/I 4MHz | | | -21/-20 | | dB |
| C/I_{3RD} | 3 rd Adjacent Channel Selectivity C/I 6MHz | | | -27/-27 | | dB |
| C/I_{CO} | C/I Co-channel (@1000kbps) | ¹⁰ | | $9^{11}/12^{12}$ | | dB |
| C/I_{1ST} | 1 st Adjacent Channel Selectivity C/I 1MHz | | | 8/8 | | dB |
| C/I_{2ND} | 2 nd Adjacent Channel Selectivity C/I 2MHz | | | -22/-21 | | dB |
| C/I_{3RD} | 3 rd Adjacent Channel Selectivity C/I 3MHz | | | -30/-30 | | dB |

Table 4 nRF24L01 RF specifications



⁷ Data rate is 2000kbps for the following C/I measurements

⁸ According to ETSI EN 300 440-1 V1.3.1 (2001-09) page 27

⁹ nRF24L01 equal modulation on interfering signal

¹⁰ Data rate is 1000kbps for the following C/I measurements

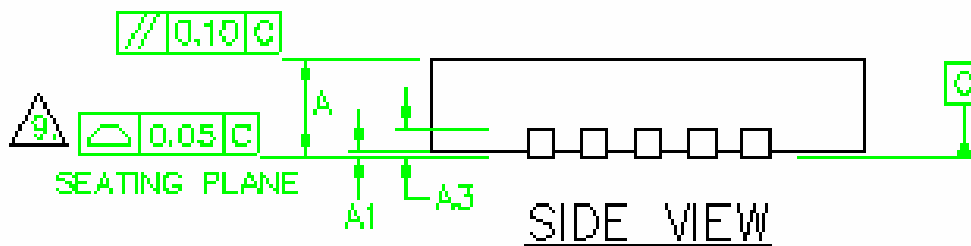
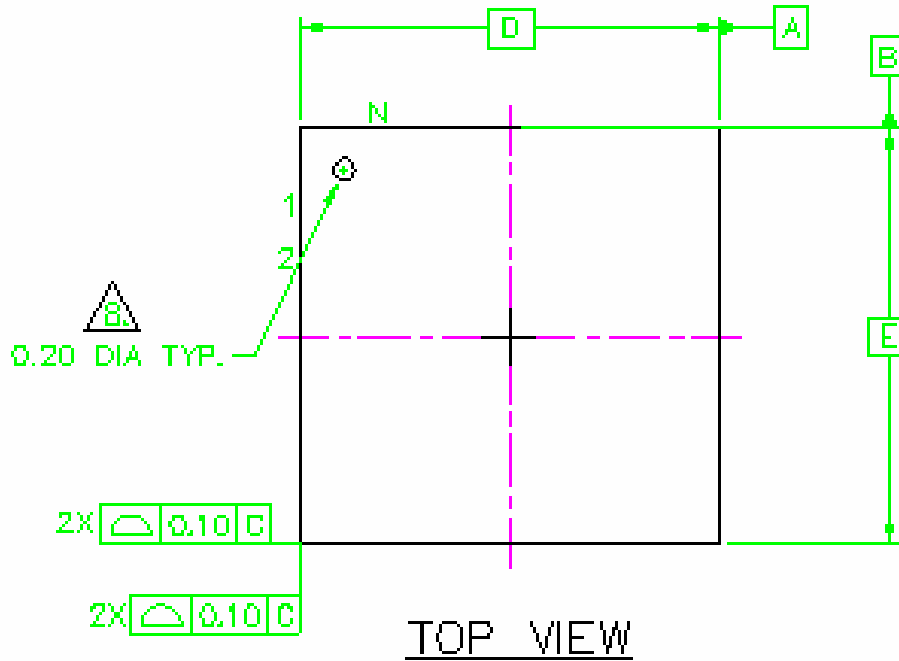
¹¹ According to ETSI EN 300 440-1 V1.3.1 (2001-09) page 27

¹² nRF24L01 equal modulation on interfering signal



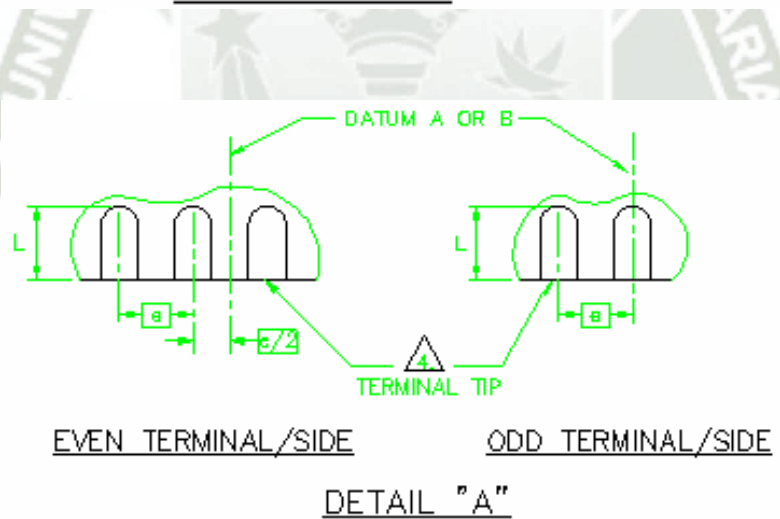
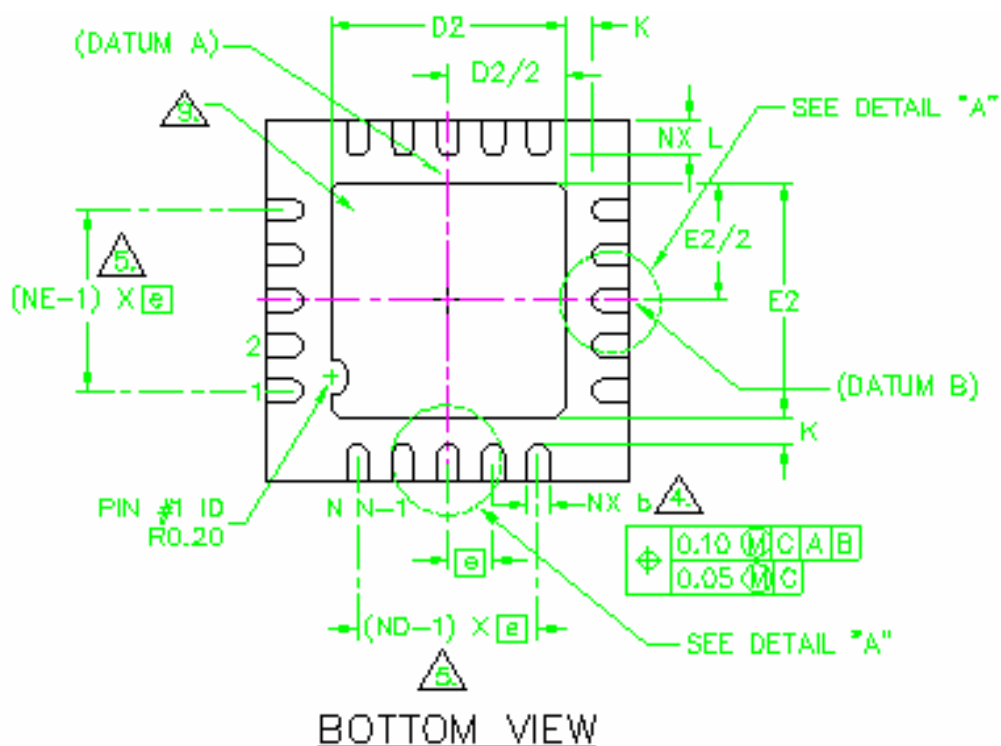
PACKAGE OUTLINE

nRF24L01 uses the QFN20 4x4 package, with matt tin plating.





nRF24L01 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver



| Package Type | | A | A1 | A3 | K | D/E | e | D2/E2 | L | L1 | b |
|-----------------------|------|------|------|------|------|-----------------------|---------|-------|------|------|------|
| Saw QFN20 (4x4 mm) | Min | 0.80 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | 4.0 BSC ¹³ | 0.5 BSC | 2.50 | 0.35 | 0.15 | 0.18 |
| | Typ. | 0.85 | 0.02 | REF. | min | | | 2.60 | 0.40 | max | 0.25 |
| | Max | 0.95 | 0.05 | | | | | 2.70 | 0.45 | | 0.30 |

Figure 3 nRF24L01 Package Outline.

¹³ BSC: Basic Spacing between Centers, ref. JEDEC standard 95, page 4 17-11/A



Package marking:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| n | R | F | | B | X |
| 2 | 4 | L | 0 | 1 | |
| Y | Y | W | W | L | L |

Abbreviations:

- B – Build Code, i.e. unique code for production sites, package type and test platform
- X – "X" grade, i.e. Engineering Samples (optional)
- YY – 2 digit Year number
- WW – 2 digit Week number
- LL – 2 letter wafer lot number code

Absolute Maximum Ratings

Supply voltages

VDD..... - 0.3V to + 3.6V

VSS..... 0V

Input voltageV_I..... - 0.3V to 5.25V**Output voltage**V_O..... VSS to VDD**Total Power Dissipation**P_D (T_A=85°C) 60mW**Temperatures**

Operating Temperature.... - 40°C to + 85°C

Storage Temperature..... - 40°C to + 125°C

Note: Stress exceeding one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device.

ATTENTION!

Electrostatic Sensitive Device
Observe Precaution for handling.

**Glossary of Terms**



| Term | Description |
|-------------|--|
| ACK | Acknowledgement |
| ART | Auto Re-Transmit |
| CE | Chip Enable |
| CLK | Clock |
| CRC | Cyclic Redundancy Check |
| CSN | Chip Select NOT |
| ESB | Enhanced ShockBurst™ |
| GFSK | Gaussian Frequency Shift Keying |
| IRQ | Interrupt Request |
| ISM | Industrial-Scientific-Medical |
| LNA | Low Noise Amplifier |
| LSB | Least Significant Bit |
| LSByte | Least Significant Byte |
| Mbps | Megabit per second |
| MCU | Micro Controller Unit |
| MISO | Master In Slave Out |
| MOSI | Master Out Slave In |
| MSB | Most Significant Bit |
| MSByte | Most Significant Byte |
| PCB | Printed Circuit Board |
| PER | Packet Error Rate |
| PID | Packet Identity Bits |
| PLD | Payload |
| PRX | Primary RX |
| PTX | Primary TX |
| PWR_DWN | Power Down |
| PWR_UP | Power Up |
| RoHS | Restriction of use of Certain Hazardous Substances |
| RX | Receive |
| RX_DR | Receive Data Ready |
| SPI | Serial Peripheral Interface |
| TX | Transmit |
| TX_DS | Transmit Data Sent |

Table 5 Glossary



FUNCTIONAL DESCRIPTION

Modes of operation

The nRF24L01 can be set in the following main modes depending on the level of the following primary I/Os and configuration registers:

| Mode | PWR_UP register | PRIM_RX register | CE | FIFO state |
|------------|-----------------|------------------|-----|--|
| RX mode | 1 | 1 | 1 | - |
| TX mode | 1 | 0 | 1 | Data in TX FIFO |
| TX mode | 1 | 0 | 1→0 | Stays in TX mode until packet transmission is finished |
| Standby-II | 1 | 0 | 1 | TX FIFO empty |
| Standby-I | 1 | - | 0 | No ongoing packet transmission |
| Power Down | 0 | - | - | - |

Table 6 nRF24L01 main modes

An overview of the nRF24L01 I/O pins in different modes is given in Table 7.

Pin functions in the different modes of nRF24L01

| Pin Name | Direction | TX Mode | RX Mode | Standby Modes | Power Down |
|----------|------------------|-----------------------------|---------|---------------|------------|
| CE | Input | High Pulse >10 μ s | High | Low | - |
| CSN | Input | SPI Chip Select, active low | | | |
| SCK | Input | SPI Clock | | | |
| MOSI | Input | SPI Serial Input | | | |
| MISO | Tri-state Output | SPI Serial Output | | | |
| IRQ | Output | Interrupt, active low | | | |

Table 7 Pin functions of the nRF24L01

Standby Modes

Standby-I mode is used to minimize average current consumption while maintaining short start up times. In this mode, part of the crystal oscillator is active. In Standby-II mode some extra clock buffers are active compared to Standby-I mode. Standby-II occurs when CE is held high on a PTX device with empty TX FIFO. The configuration word content is maintained during Standby modes. SPI interface may be activated. For start up time see Table 13.

Power Down Mode

In power down nRF24L01 is disabled with minimal current consumption. When entering this mode the device is not active, but all registers values available from the SPI interface are maintained during power down and the SPI interface may be activated (CSN=0). For start up time see Table 13. The power down is controlled by the PWR_UP bit in the CONFIG register.



Packet Handling Methods

nRF24L01 has the following Packet Handling Methods:

- ShockBurst™ (compatible with nRF2401, nRF24E1, nRF2402 and nRF24E2 with 1Mbps data rate, see page 26)
- Enhanced ShockBurst™

ShockBurst™

ShockBurst™ makes it possible to use the high data rate offered by nRF24L01 without the need of a costly, high-speed microcontroller (MCU) for data processing/clock recovery. By placing all high speed signal processing related to RF protocol on-chip, nRF24L01 offers the application microcontroller a simple SPI compatible interface, the data rate is decided by the interface-speed the micro controller itself sets up. By allowing the digital part of the application to run at low speed, while maximizing the data rate on the RF link, ShockBurst™ reduces the average current consumption in applications.

In ShockBurst™ RX, IRQ notifies the MCU when a valid address and payload is received respectively. The MCU can then clock out the received payload from an nRF24L01 RX FIFO.

In ShockBurst™ TX, nRF24L01 automatically generates preamble and CRC, see Table 12. IRQ notifies the MCU that the transmission is completed. All together, this means reduced memory demand in the MCU resulting in a low cost MCU, as well as reduced software development time. nRF24L01 has a three level deep RX FIFO (shared between 6 pipes) and a three level deep TX FIFO. The MCU can access the FIFOs at any time, in power down mode, in standby modes, and during RF packet transmission. This allows the slowest possible SPI interface compared to the average data-rate, and may enable usage of an MCU without hardware SPI.

Enhanced ShockBurst™

Enhanced ShockBurst™ is a packet handling method with functionality that makes bi-directional link protocol implementation easier and more efficient. In a typical bi-directional link, one will let the terminating part acknowledge received packets from the originating part in order to make it possible to detect data loss. Data loss can then be recovered by retransmission. The idea with Enhanced ShockBurst™ is to let nRF24L01 handle both acknowledgement of received packets and retransmissions of lost packets, without involvement from the microcontroller.

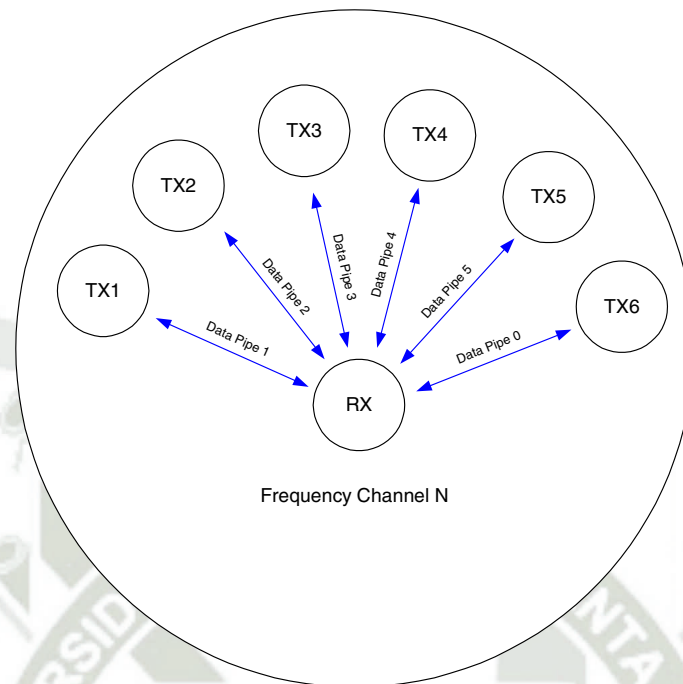


Figure 4: nRF24L01 in a star network configuration

An nRF24L01 configured as primary RX (PRX) will be able to receive data through 6 different data pipes, see Figure 4. A data pipe will have a unique address but share the same frequency channel. This means that up to 6 different nRF24L01 configured as primary TX (PTX) can communicate with one nRF24L01 configured as PRX, and the nRF24L01 configured as PRX will be able to distinguish between them. Data pipe 0 has a unique 40 bit configurable address. Each of data pipe 1-5 has an 8 bit unique address and shares the 32 most significant address bits. All data pipes can perform full Enhanced ShockBurst™ functionality.

nRF24L01 will use the data pipe address when acknowledging a received packet. This means that nRF24L01 will transmit ACK with the same address as it receives payload at. In the PTX device data pipe 0 is used to receive the acknowledgement, and therefore the receive address for data pipe 0 has to be equal to the transmit address to be able to receive the acknowledgement. See Figure 5 for addressing example.

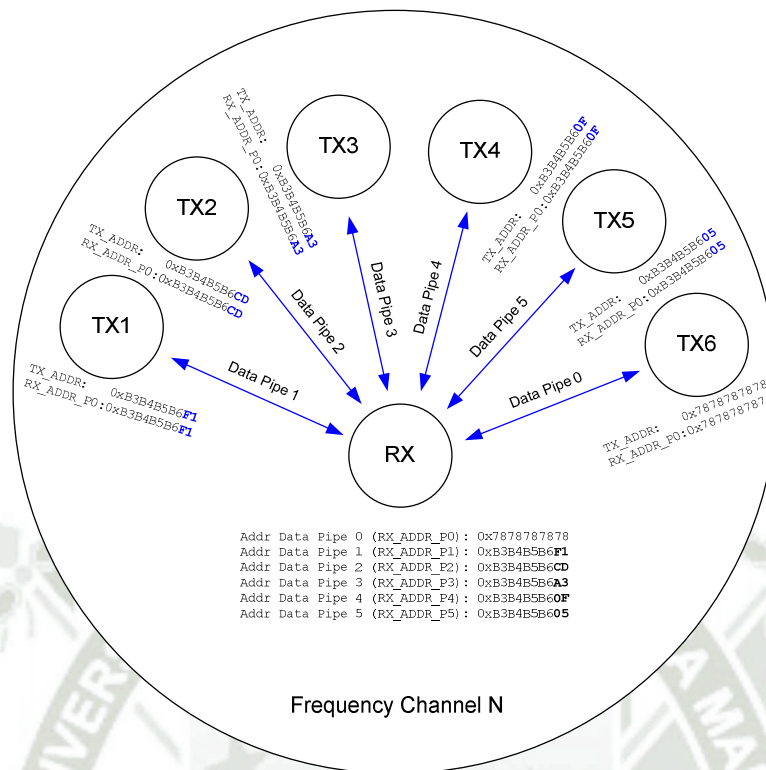


Figure 5: Example on how the acknowledgement addressing is done

An nRF24L01 configured as PTX with Enhanced ShockBurst™ enabled, will use the ShockBurst™ feature to send a packet whenever the microcontroller wants to. After the packet has been transmitted, nRF24L01 will switch on its receiver and expect an acknowledgement to arrive from the terminating part. If this acknowledgement fails to arrive, nRF24L01 will retransmit the same packet until it receives an acknowledgement or the number of retries exceeds the number of allowed retries given in the SETUP_RETR_ARC register. If the number of retries exceeds the number of allowed retries, this will be showed by the STATUS register bit MAX_RT which gives an interrupt.

Whenever an acknowledgement is received by an nRF24L01 it will consider the last transmitted packet as delivered. It will then be cleared from the TX FIFO, and the TX_DS IRQ source will be set high.

With Enhanced ShockBurst™ nRF24L01 offers the following benefits:

- Highly reduced current consumption due to short time on air and sharp timing when operating with acknowledgement traffic
- Lower system cost. Since the nRF24L01 handles all the high-speed link layer operations, like re-transmission of lost packet and generating acknowledgement to received packets, it is no need for hardware SPI on the system microcontroller to interface the nRF24L01. The interface can be done by using general purpose IO pins on a low cost microcontroller where the SPI is emulated in firmware. With the nRF24L01 this will be sufficient speed even when running a bi-directional link.
- Greatly reduced risk of “on-air” collisions due to short time on air
- Easier firmware development since the link layer is integrated on chip



Enhanced ShockBurst™ Transmitting Payload:

1. The configuration bit PRIM_RX has to be low.
2. When the application MCU has data to send, the address for receiving node (TX_ADDR) and payload data (TX_PLD) has to be clocked into nRF24L01 via the SPI interface. The width of TX-payload is counted from number of bytes written into the TX FIFO from the MCU. TX_PLD must be written continuously while holding CSN low. TX_ADDR does not have to be rewritten if it is unchanged from last transmit. If the PTX device shall receive acknowledgement, data pipe 0 has to be configured to receive the acknowledgement. The receive address for data pipe 0 (RX_ADDR_P0) has to be equal to the transmit address (TX_ADDR) in the PTX device. For the example in Figure 5 the following address settings have to be performed for the TX5 device and the RX device:
TX5 device: TX_ADDR = 0xB3B4B5B605
TX5 device: RX_ADDR_P0 = 0xB3B4B5B605
RX device: RX_ADDR_P5 = 0xB3B4B5B605
3. A high pulse on CE starts the transmission. The minimum pulse width on CE is 10 µs.
4. nRF24L01 ShockBurst™:
 - Radio is powered up
 - 16 MHz internal clock is started.
 - RF packet is completed (see the packet description)
 - Data is transmitted at high speed (1 Mbps or 2 Mbps configured by MCU).
5. If auto acknowledgement is activated (ENAA_P0=1) the radio goes into RX mode immediately. If a valid packet has been received in the valid acknowledgement time window, the transmission is considered a success. The TX_DS bit in the status register is set high and the payload is removed from TX FIFO. If a valid acknowledgement is not received in the specified time window, the payload is resent (if auto retransmit is enabled). If the auto retransmit counter (ARC_CNT) exceeds the programmed maximum limit (ARC), the MAX_RT bit in the status register is set high. The payload in TX FIFO is NOT removed. The IRQ pin will be active when MAX_RT or TX_DS is high. To turn off the IRQ pin, the interrupt source must be reset by writing to the status register (see Interrupt chapter). If no acknowledgement is received for a packet after the maximum number of retries, no further packets can be sent before the MAX_RX interrupt is cleared. The packet loss counter (PLOS_CNT) is incremented at each MAX_RT interrupt. I.e. ARC_CNT counts the number of retries that was required to get a single packet through. PLOS_CNT counts the number of packets that did not get through after maximum number of retries.
6. The device goes into Standby-I mode if CE is low. Otherwise next payload in TX FIFO will be sent. If TX FIFO is empty and CE is still high, the device will enter Standby-II mode.
7. If the device is in Standby-II mode, it will go to Standby-I mode immediately if CE is set low.

Enhanced ShockBurst™ Receive Payload:

1. RX is selected by setting the PRIM_RX bit in the configuration register to high. All data pipes that shall receive data must be enabled (EN_RXADDR register),



auto acknowledgement for all pipes running Enhanced ShockBurst™ has to be enabled (EN_AA register), and the correct payload widths must be set (RX_PW_Px registers). Addresses have to be set up as described in item 2 in the Enhanced ShockBurst™ transmit payload chapter above.

2. Active RX mode is started by setting CE high.
3. After 130µs nRF24L01 is monitoring the air for incoming communication.
4. When a valid packet has been received (matching address and correct CRC), the payload is stored in the RX-FIFO, and the RX_DR bit in status register is set high. The IRQ pin will be active when RX_DR is high. RX_P_NO in status register will indicate what data pipe the payload has been received in.
5. If auto acknowledgement is enabled, an acknowledgement is sent back.
6. MCU sets the CE pin low to enter Standby-I mode (low current mode).
7. MCU can clock out the payload data at a suitable rate via the SPI interface.
8. The device is now ready for entering TX or RX mode or power down mode.

Two way communication with payload in both directions

If payload shall be sent in both directions, the PRIM_RX register must be toggled by redefining the device from PRX to PTX or vice versa. The controlling processors must handle the synchronicity between a PTX and a PRX. Data buffering in both RX FIFO and TX FIFO simultaneously is possible, but restricted to data pipes 1 to 5. The third level in TX FIFO shall only be written in RX, TX or Standby-II mode if data is stored in RX FIFO

Auto Acknowledgement (RX)

The auto acknowledgement function reduces the load of the external microcontroller, and may remove the need for dedicated SPI hardware in a mouse/keyboard or comparable systems, and hence reduce cost and average current consumption. Auto acknowledgement can be configured individually for each data pipe via the SPI interface.

If auto acknowledgement is enabled and a valid packet (correct data pipe address and CRC) is received, the device will enter TX mode and send an acknowledgement packet. After the device has sent the acknowledgement packet, normal operation resumes, and the mode is determined by the PRIM_RX register and CE pin.

Auto Re-Transmission (ART) (TX)

An auto retransmission function is available. It will be used at the TX side in an auto acknowledgement system. In the SETUP_RETR register it will be possible to state how many times the data in the data register will be resent if data is not acknowledged. After each sending, the device will enter RX mode and wait a specified time period for acknowledgement. When the acknowledgement packet is received, the device will return to normal transmit function. If there is no more unsent data in the TX FIFO and the CE pin is low, the device will go into Standby-I mode. If the acknowledgement is not received, the device will go back to TX mode and resend the data. This will continue until acknowledgment is received, or a time out occurs



(i.e. the maximum number of sending is reached). The only way to reset this is to set the PWR_UP bit low or let the auto retransmission finish. A packet loss counter will be incremented each time a packet does not succeed to reach the destination before time out. (Time out is indicated by the MAX_RT interrupt.) The packet loss counter is reset when writing to the RF channel register.

Packet Identity (PID) and CRC used by Enhanced ShockBurst™

Each packet contains a two bit wide PID field to detect if the received packet is new or resent. The PID will prevent that the PRX device presents the same payload more than once to the microcontroller. This PID field is incremented at the TX side for each new packet received via the SPI interface. The PID and CRC field is used by the PRX device to determine whether a packet is resent or new. When several data is lost on the link, the PID fields may in some cases become equal to last received PID. If a packet has the same PID as the previous packet, nRF24L01 will compare the CRC sums from both packets. If they also are equal, the last received packet is considered as a copy of the previous and is discarded.

1: PRX device:

The PRX device compares the received PID with the last PID. If the PID fields are different, the packet is considered to be new. If the PID is equal to last received PID, the received packet might be the same as last time. The receiver must check if the CRC is equal to the previous CRC. If the CRC is equal to the previous one, the packet is probably the same, and will be discarded.

2: PTX device:

The transmitter increments the PID field each time it sends a new packet.

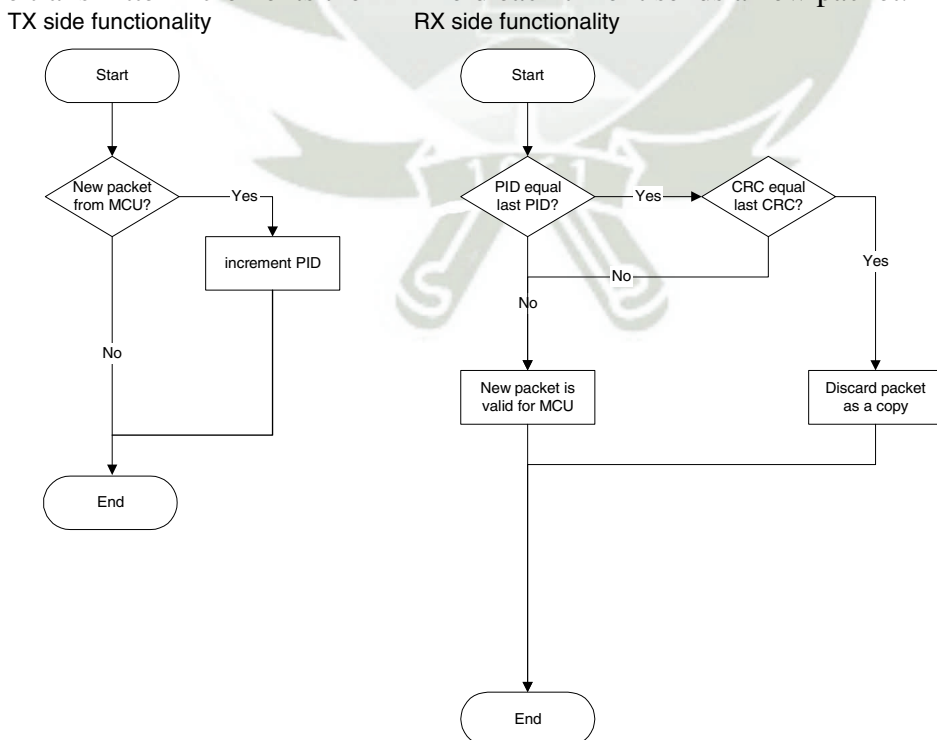


Figure 6 PID generation/detection



The length of the CRC is configurable through the SPI interface. It is important to notice that the CRC is calculated over the whole packet including address, PID and payload. No packet is accepted as correct if the CRC fails. This is an extra requirement for packet acceptance that is not illustrated in the figure above.

Stationary Disturbance Detection – CD

Carrier Detect (CD) is set high when an in-band RF signal is detected in RX mode, otherwise CD is low. The internal CD signal is filtered before presented to CD register. The internal CD signal must be high for at least 128 μ s.

In Enhanced ShockBurst™ it is recommended to use the Carrier Detect functionality only when the PTX device does not succeed to get packets through, as indicated by the MAX_RT interrupt for single packets and by the packet loss counter (PLOS_CNT) if several packets are lost. If the PLOS_CNT in the PTX device indicates to high rate of packet losses, the device can be configured to a PRX device for a short time ($T_{stbt2a} + \text{CD-filter delay} = 130\mu\text{s} + 128\mu\text{s} = 258\mu\text{s}$) to check CD. If CD was high (jam situation), the frequency channel should be changed. If CD was low (out of range), it may continue on the same frequency channel, but perform other adjustments. (A dummy write to the RF_CH will clear the PLOS_CNT.)

Data Pipes

nRF24L01 configured as PRX can receive data addressed to 6 different data pipes in one physical frequency channel. Each data pipe has its own unique address and can be configured to have individual behavior.

The data pipes are enabled with the bits in the EN_RXADDR register. By default only data pipe 0 and 1 are enabled.

The address for each data pipe is configured in the RX_ADDR_Px registers. Always ensure that none of the data pipes have the exact same address.

Data pipe 0 has a unique 40 bit configurable address. Data pipes 1-5 share the 32 most significant address bits and have only the LSByte unique for each data pipe. Figure 7 shows an example of how data pipes 0-5 are addressed. All pipes can have up to 40 bit address, but for pipe 1-5 only the LSByte is different, and the LSByte must be unique for all pipes.



| | Byte 4 | Byte 3 | Byte 2 | Byte 1 | Byte 0 |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Data pipe 0 (RX_ADDR_P0) | 0xE7 | 0xD3 | 0xF0 | 0x35 | 0x77 |
| Data pipe 1 (RX_ADDR_P1) | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 |
| | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | |
| Data pipe 2 (RX_ADDR_P2) | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 | 0xC3 |
| | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | |
| Data pipe 3 (RX_ADDR_P3) | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 | 0xC4 |
| | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | |
| Data pipe 4 (RX_ADDR_P4) | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 | 0xC5 |
| | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | |
| Data pipe 5 (RX_ADDR_P5) | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 | 0xC2 | 0xC6 |

Figure 7: Addressing data pipes 0-5

When a packet has been received at one of the data pipes and the data pipe is setup to generate acknowledgement, nRF24L01 will generate an acknowledgement with an address that equals the data pipe address where the packet was received.

Some configuration settings are common to all data pipes and some are individual. The following settings are common to all data pipes:

- CRC enabled/disabled (CRC always enabled when ESB is enabled)
- CRC encoding scheme
- RX address width
- Frequency channel
- RF data rate
- LNA gain
- RF output power



DEVICE CONFIGURATION

All configuration of nRF24L01 is defined by values in some configuration registers. All these registers are writable via the SPI interface.

SPI Interface

The SPI interface is a standard SPI interface with a maximum data rate of 10Mbps. Most registers are readable.

SPI Instruction Set

The available commands to be used on the SPI interface are shown below. Whenever CSN is set low the interface expects an instruction. Every new instruction must be started by a high to low transition on CSN.

In parallel to the SPI instruction word applied on the MOSI pin, the STATUS register is shifted serially out on the MISO pin.

The serial shifting SPI commands is on the format:

<**Instruction word:** MSBit to LSBit (one byte)>

<**Data bytes:** LSByte to MSByte, MSBit in each byte first>

See Figure 8 and Figure 9.

| Instruction Name | Instruction Format [binary] | # Data Bytes | Operation |
|------------------|-----------------------------|-------------------------|--|
| R_REGISTER | 000A AAAA | 1 to 5 LSByte first | Read registers. AAAAA = 5 bit Memory Map Address |
| W_REGISTER | 001A AAAA | 1 to 5 LSByte first | Write registers. AAAAA = 5 bit Memory Map Address <i>Executable in power down or standby modes only.</i> |
| R_RX_PAYLOAD | 0110 0001 | 1 to 32 LSByte first | Read RX-payload: 1 – 32 bytes. A read operation will always start at byte 0. Payload will be deleted from FIFO after it is read. Used in RX mode. |
| W_TX_PAYLOAD | 1010 0000 | 1 to 32 LSByte first | Used in TX mode. Write TX-payload: 1 – 32 bytes. A write operation will always start at byte 0. |
| FLUSH_TX | 1110 0001 | 0 | Flush TX FIFO, used in TX mode |
| FLUSH_RX | 1110 0010 | 0 | Flush RX FIFO, used in RX mode Should not be executed during transmission of acknowledge, i.e. acknowledge package will not be completed. |
| REUSE_TX_PL | 1110 0011 | 0 | Used for a PTX device Reuse last sent payload. Packets will be repeatedly resent as long as CE is high. TX payload reuse is active until W_TX_PAYLOAD or FLUSH TX is executed. TX payload reuse must not be activated or deactivated during package transmission |
| NOP | 1111 1111 | 0 | No Operation. Might be used to read the STATUS register |

Table 8 Instruction set for the nRF24L01 SPI interface.

The W_REGISTER and R_REGISTER may operate on single or multi-byte registers. When accessing multi-byte registers one will read or write MSBit of LSByte first. The



nRF24L01 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

writing can be terminated before all bytes in a multi-byte register has been written. In this case the unwritten MSByte(s) will remain unchanged. E.g. the LSByte of RX_ADDR_P0 can be modified by writing only one byte to the RX_ADDR_P0 register. The content of the status register will always be read to MISO after a high to low transition on CSN.

Interrupt

The nRF24L01 has an active low interrupt pin (IRQ). The interrupt pin is activated when TX_DS, RX_DR or MAX_RT is set high in status register. When MCU writes '1' to the interrupt source, the IRQ pin will go inactive. The interrupt mask part of the CONFIG register is used to mask out the interrupt sources that are allowed to set the IRQ pin low. By setting one of the MASK bits high, the corresponding interrupt source will be disabled. By default all interrupt sources are enabled.

SPI Timing

The interface supports SPI. SPI operation and timing is given in Figure 8 to Figure 10 and in Table 9 and Table 10. The device must be in one of the standby modes or power down mode before writing to the configuration registers. In Figure 8 to Figure 10 the following notations are used:

Cn – SPI Instruction Bit

Sn – Status Register Bit

Dn – Data Bit (note: LSByte to MSByte, MSBit in each byte first)

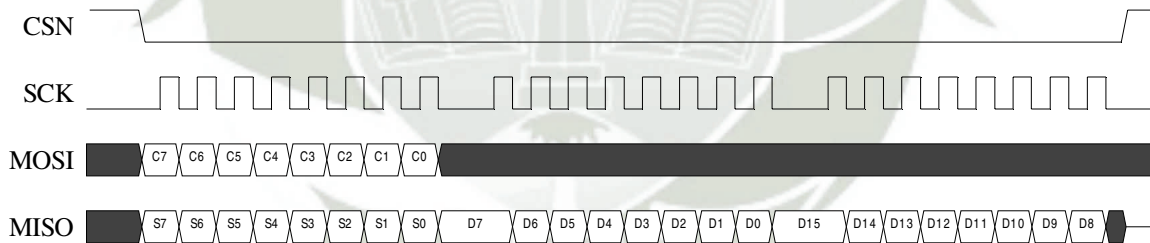


Figure 8 SPI read operation.

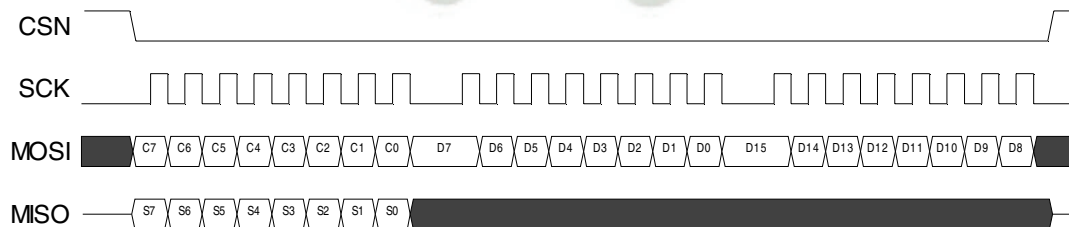


Figure 9 SPI write operation.

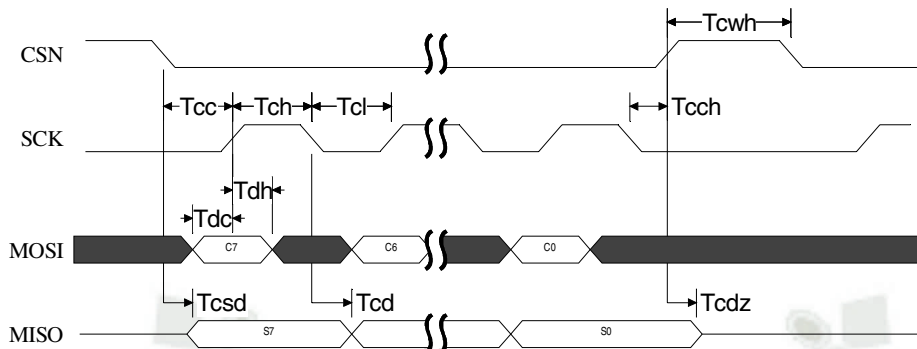


Figure 10 SPI NOP timing diagram.

| PARAMETER | SYMBOL | MIN | MAX | UNITS |
|----------------------|------------|-----|-----|-------|
| Data to SCK Setup | T_{dc} | 2 | | ns |
| SCK to Data Hold | T_{dh} | 2 | | ns |
| CSN to Data Valid | T_{csd} | | 38 | ns |
| SCK to Data Valid | T_{cd} | | 55 | ns |
| SCK Low Time | T_{cl} | 40 | | ns |
| SCK High Time | T_{ch} | 40 | | ns |
| SCK Frequency | F_{sck} | 0 | 8 | MHz |
| SCK Rise and Fall | T_r, T_f | | 100 | ns |
| CSN to SCK Setup | T_{cc} | 2 | | ns |
| SCK to CSN Hold | T_{cch} | 2 | | ns |
| CSN Inactive time | T_{cwh} | 50 | | ns |
| CSN to Output High Z | T_{cdz} | | 38 | ns |

Table 9 SPI timing parameters ($C_{Load} = 5pF$).

| PARAMETER | SYMBOL | MIN | MAX | UNITS |
|----------------------|------------|-----|-----|-------|
| Data to SCK Setup | T_{dc} | 2 | | ns |
| SCK to Data Hold | T_{dh} | 2 | | ns |
| CSN to Data Valid | T_{csd} | | 42 | ns |
| SCK to Data Valid | T_{cd} | | 58 | ns |
| SCK Low Time | T_{cl} | 40 | | ns |
| SCK High Time | T_{ch} | 40 | | ns |
| SCK Frequency | F_{sck} | 0 | 8 | MHz |
| SCK Rise and Fall | T_r, T_f | | 100 | ns |
| CSN to SCK Setup | T_{cc} | 2 | | ns |
| SCK to CSN Hold | T_{cch} | 2 | | ns |
| CSN Inactive time | T_{cwh} | 50 | | ns |
| CSN to Output High Z | T_{cdz} | | 42 | ns |

Table 10 SPI timing parameters ($C_{Load} = 10pF$).



MEMORY MAP

All undefined bits in the table below are redundant. They will be read out as '0'.

| Address (Hex) | Mnemonic | Bit | Reset Value | Type | Description |
|---------------|-------------------------------|-----|-------------|------|---|
| 00 | CONFIG | | | | Configuration Register |
| | Reserved | 7 | 0 | R/W | Only '0' allowed |
| | MASK_RX_DR | 6 | 0 | R/W | Mask interrupt caused by RX_DR 1: Interrupt not reflected on the IRQ pin 0: Reflect RX_DR as active low interrupt on the IRQ pin |
| | MASK_TX_DS | 5 | 0 | R/W | Mask interrupt caused by TX_DS 1: Interrupt not reflected on the IRQ pin 0: Reflect TX_DS as active low interrupt on the IRQ pin |
| | MASK_MAX_RT | 4 | 0 | R/W | Mask interrupt caused by MAX_RT 1: Interrupt not reflected on the IRQ pin 0: Reflect MAX_RT as active low interrupt on the IRQ pin |
| | EN_CRC | 3 | 1 | R/W | Enable CRC. Forced high if one of the bits in the EN_AA is high |
| | CRCO | 2 | 0 | R/W | CRC encoding scheme '0' - 1 byte '1' - 2 bytes |
| | PWR_UP | 1 | 0 | R/W | 1: POWER UP, 0: POWER DOWN |
| | PRIM_RX | 0 | 0 | R/W | 1: PRX, 0: PTX |
| 01 | EN_AA Enhanced ShockBurst™ | | | | Enable 'Auto Acknowledgment' Function Disable this functionality to be compatible with nRF2401, see page 26 |
| | Reserved | 7:6 | 00 | R/W | Only '00' allowed |
| | ENAA_P5 | 5 | 1 | R/W | Enable auto ack. data pipe 5 |
| | ENAA_P4 | 4 | 1 | R/W | Enable auto ack. data pipe 4 |
| | ENAA_P3 | 3 | 1 | R/W | Enable auto ack. data pipe 3 |
| | ENAA_P2 | 2 | 1 | R/W | Enable auto ack. data pipe 2 |
| | ENAA_P1 | 1 | 1 | R/W | Enable auto ack. data pipe 1 |
| | ENAA_P0 | 0 | 1 | R/W | Enable auto ack. data pipe 0 |
| 02 | EN_RXADDR | | | | Enabled RX Addresses |
| | Reserved | 7:6 | 00 | R/W | Only '00' allowed |
| | ERX_P5 | 5 | 0 | R/W | Enable data pipe 5. |
| | ERX_P4 | 4 | 0 | R/W | Enable data pipe 4. |
| | ERX_P3 | 3 | 0 | R/W | Enable data pipe 3. |
| | ERX_P2 | 2 | 0 | R/W | Enable data pipe 2. |
| | ERX_P1 | 1 | 1 | R/W | Enable data pipe 1. |
| | ERX_P0 | 0 | 1 | R/W | Enable data pipe 0. |
| 03 | SETUP_AW | | | | Setup of Address Widths (common for all data pipes) |
| | Reserved | 7:2 | 000000 | R/W | Only '000000' allowed |
| | AW | 1:0 | 11 | R/W | RX/TX Address field width '00' - Illegal '01' - 3 bytes '10' - 4 bytes '11' - 5 bytes LSByte will be used if address width below 5 bytes |
| 04 | SETUP_RETR | | | | Setup of Automatic Retransmission |
| | ARD | 7:4 | 0000 | R/W | Auto Re-transmit Delay '0000' - Wait 250+86µS |



nRF24L01 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

| Address (Hex) | Mnemonic | Bit | Reset Value | Type | Description |
|---------------|-----------|-----|-------------|------|--|
| | | | | | '0001' – Wait 500+86uS '0010' – Wait 750+86uS '1111' – Wait 4000+86uS (Delay defined from end of transmission to start of next transmission) ¹⁴ |
| | ARC | 3:0 | 0011 | R/W | Auto Retransmit Count '0000' – Re-Transmit disabled '0001' – Up to 1 Re-Transmit on fail of AA '1111' – Up to 15 Re-Transmit on fail of AA |
| 05 | RF_CH | | | | RF Channel |
| | Reserved | 7 | 0 | R/W | Only '0' allowed |
| | RF_CH | 6:0 | 0000010 | R/W | Sets the frequency channel nRF24L01 operates on |
| 06 | RF_SETUP | | | | RF Setup Register |
| | Reserved | 7:5 | 000 | R/W | Only '000' allowed |
| | PLL_LOCK | 4 | 0 | R/W | Force PLL lock signal. Only used in test |
| | RF_DR | 3 | 1 | R/W | Data Rate '0' – 1 Mbps '1' – 2 Mbps |
| | RF_PWR | 2:1 | 11 | R/W | Set RF output power in TX mode '00' – -18 dBm '01' – -12 dBm '10' – -6 dBm '11' – 0 dBm |
| | LNA_HCURR | 0 | 1 | R/W | Setup LNA gain |
| 07 | STATUS | | | | Status Register (In parallel to the SPI instruction word applied on the MOSI pin, the STATUS register is shifted serially out on the MISO pin) |
| | Reserved | 7 | 0 | R/W | Only '0' allowed |
| | RX_DR | 6 | 0 | R/W | Data Ready RX FIFO interrupt. Set high when new data arrives RX FIFO ¹⁵ . Write 1 to clear bit. |
| | TX_DS | 5 | 0 | R/W | Data Sent TX FIFO interrupt. Set high when packet sent on TX. If AUTO_ACK is activated, this bit will be set high only when ACK is received. Write 1 to clear bit. |
| | MAX_RT | 4 | 0 | R/W | Maximum number of TX retries interrupt. Write 1 to clear bit. If MAX_RT is set it must be cleared to enable further communication. |
| | RX_P_NO | 3:1 | 111 | R | Data pipe number for the payload |

¹⁴ Accurate formula for delay from start of transmission, to start of re-transmission:

$$\text{TRD (us)} = 250\text{us} * (\text{ARD}+1) + 4\text{us} * (\text{AW} + \text{PW} + \text{CRCW}) + 138,5\text{us}.$$

TRD= total retransmit delay, AW=Address Width (#bytes), PW=Payload Width(#bytes)

, CRCW= CRC Width (#bytes)

¹⁵ The Data Ready interrupt is set by a new packet arrival event. The procedure for handling this interrupt should be: 1) read payload via SPI, 2) clear RX_DR interrupt, 3) read FIFO_STATUS to check if there are more payloads available in RX FIFO, 4) if there are more data in RX FIFO, repeat from 1).



nRF24L01 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

| Address (Hex) | Mnemonic | Bit | Reset Value | Type | Description |
|---------------|------------|------|--------------|------|---|
| | | | | | available for reading from RX_FIFO 000-101: Data Pipe Number 110: Not Used 111: RX FIFO Empty |
| | TX_FULL | 0 | 0 | R | TX FIFO full flag. 1: TX FIFO full. 0: Available locations in TX FIFO. |
| 08 | OBSERVE_TX | | | | Transmit observe register |
| | PLOS_CNT | 7:4 | 0 | R | Count lost packets. The counter is overflow protected to 15, and discontinued at max until reset. The counter is reset by writing to RF_CH. See page 14 and 17. |
| | ARC_CNT | 3:0 | 0 | R | Count resent packets. The counter is reset when transmission of a new packet starts. See page 14. |
| 09 | CD | | | | |
| | Reserved | 7:1 | 000000 | R | |
| | CD | 0 | 0 | R | Carrier Detect. See page 17. |
| 0A | RX_ADDR_P0 | 39:0 | 0xE7E7E7E7E7 | R/W | Receive address data pipe 0. 5 Bytes maximum length. (LSByte is written first. Write the number of bytes defined by SETUP_AW) |
| 0B | RX_ADDR_P1 | 39:0 | 0xC2C2C2C2C2 | R/W | Receive address data pipe 1. 5 Bytes maximum length. (LSByte is written first. Write the number of bytes defined by SETUP_AW) |
| 0C | RX_ADDR_P2 | 7:0 | 0xC3 | R/W | Receive address data pipe 2. Only LSB. MSBytes will be equal to RX_ADDR_P1[39:8] |
| 0D | RX_ADDR_P3 | 7:0 | 0xC4 | R/W | Receive address data pipe 3. Only LSB. MSBytes will be equal to RX_ADDR_P1[39:8] |
| 0E | RX_ADDR_P4 | 7:0 | 0xC5 | R/W | Receive address data pipe 4. Only LSB. MSBytes will be equal to RX_ADDR_P1[39:8] |
| 0F | RX_ADDR_P5 | 7:0 | 0xC6 | R/W | Receive address data pipe 5. Only LSB. MSBytes will be equal to RX_ADDR_P1[39:8] |
| 10 | TX_ADDR | 39:0 | 0xE7E7E7E7E7 | R/W | Transmit address. Used for a PTX device only. (LSByte is written first) Set RX_ADDR_P0 equal to this address to handle automatic acknowledge if this is a PTX device with Enhanced ShockBurst™ enabled. See page 14. |
| 11 | RX_PW_P0 | | | | |
| | Reserved | 7:6 | 00 | R/W | Only '00' allowed |
| | RX_PW_P0 | 5:0 | 0 | R/W | Number of bytes in RX payload in data pipe 0 (1 to 32 bytes). 0 Pipe not used 1 = 1 byte ... 32 = 32 bytes |
| 12 | RX_PW_P1 | | | | |
| | Reserved | 7:6 | 00 | R/W | Only '00' allowed |
| | RX_PW_P1 | 5:0 | 0 | R/W | Number of bytes in RX payload in data pipe 1 (1 to 32 bytes). 0 Pipe not used |



nRF24L01 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

| Address (Hex) | Mnemonic | Bit | Reset Value | Type | Description |
|---------------|-------------|-------|-------------|------|--|
| | | | | | 1 = 1 byte ... 32 = 32 bytes |
| 13 | RX_PW_P2 | | | | |
| | Reserved | 7:6 | 00 | R/W | Only '00' allowed |
| | RX_PW_P2 | 5:0 | 0 | R/W | Number of bytes in RX payload in data pipe 2 (1 to 32 bytes). 0 Pipe not used 1 = 1 byte ... 32 = 32 bytes |
| 14 | RX_PW_P3 | | | | |
| | Reserved | 7:6 | 00 | R/W | Only '00' allowed |
| | RX_PW_P3 | 5:0 | 0 | R/W | Number of bytes in RX payload in data pipe 3 (1 to 32 bytes). 0 Pipe not used 1 = 1 byte ... 32 = 32 bytes |
| 15 | RX_PW_P4 | | | | |
| | Reserved | 7:6 | 00 | R/W | Only '00' allowed |
| | RX_PW_P4 | 5:0 | 0 | R/W | Number of bytes in RX payload in data pipe 4 (1 to 32 bytes). 0 Pipe not used 1 = 1 byte ... 32 = 32 bytes |
| 16 | RX_PW_P5 | | | | |
| | Reserved | 7:6 | 00 | R/W | Only '00' allowed |
| | RX_PW_P5 | 5:0 | 0 | R/W | Number of bytes in RX payload in data pipe 5 (1 to 32 bytes). 0 Pipe not used 1 = 1 byte ... 32 = 32 bytes |
| 17 | FIFO_STATUS | | | | FIFO Status Register |
| | Reserved | 7 | 0 | R/W | Only '0' allowed |
| | TX_REUSE | 6 | 0 | R | Reuse last sent data packet if set high. The packet will be repeatedly resent as long as CE is high. TX_REUSE is set by the SPI instruction REUSE_TX_PL, and is reset by the SPI instructions W_TX_PAYLOAD or FLUSH TX |
| | TX_FULL | 5 | 0 | R | TX FIFO full flag. 1: TX FIFO full. 0: Available locations in TX FIFO. |
| | TX_EMPTY | 4 | 1 | R | TX FIFO empty flag. 1: TX FIFO empty. 0: Data in TX FIFO. |
| | Reserved | 3:2 | 00 | R/W | Only '00' allowed |
| | RX_FULL | 1 | 0 | R | RX FIFO full flag. 1: RX FIFO full. 0: Available locations in RX FIFO. |
| | RX_EMPTY | 0 | 1 | R | RX FIFO empty flag. 1: RX FIFO empty. 0: Data in RX FIFO. |
| N/A | TX_PLD | 255:0 | X | W | Written by separate SPI command TX data payload register 1 - 32 bytes. This register is implemented as a FIFO with 3 levels. Used in TX mode only |
| N/A | RX_PLD | 255:0 | X | R | Written by separate SPI command RX data payload register. 1 - 32 bytes. This register is implemented as a FIFO |


nRF24L01 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

| Address (Hex) | Mnemonic | Bit | Reset Value | Type | Description |
|---------------|----------|-----|-------------|------|--|
| | | | | | with 3 levels. All receive channels share the same FIFO |

Table 11 Memory map of nRF24L01

Configuration for compatibility with nRF24XX

How to setup nRF24L01 to receive from an nRF2401/nRF2402/nRF24E1/nRF24E2:

- Use same CRC configuration as the nRF2401/nRF2402/nRF24E1/nRF24E2 uses
- Set the PRIM_RX bit to 1
- Disable auto acknowledgement on the data pipe that will be addressed
- Use the same address width as the PTX device
- Use the same frequency channel as the PTX device
- Select data rate 1Mbit/s on both nRF24L01 and nRF2401/nRF2402/nRF24E1/nRF24E2
- Set correct payload width on the data pipe that will be addressed
- Set PWR_UP and CE high

How to setup nRF24L01 to transmit to an nRF2401/nRF24E1:

- Use same CRC configuration as the nRF2401/nRF2402/nRF24E1/nRF24E2 uses
- Set the PRIM_RX bit to 0
- Set the Auto Retransmit Count to 0 to disable the auto retransmit functionality
- Use the same address width as the nRF2401/nRF2402/nRF24E1/nRF24E2 uses
- Use the same frequency channel as the nRF2401/nRF2402/nRF24E1/nRF24E2 uses
- Select data rate 1Mbit/s on both nRF24L01 and nRF2401/nRF2402/nRF24E1/nRF24E2
- Set PWR_UP high
- Clock in a payload that has the same length as the nRF2401/nRF2402/nRF24E1/nRF24E2 is configured to receive
- Pulse CE to send the packet



nRF24L01 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

PACKET DESCRIPTION

An Enhanced ShockBurst™ packet with payload (1-32 bytes).

| | | | | |
|----------|------------------|-------|---------------------|----------------|
| Preamble | Address 3-5 byte | 9 bit | Payload 1 - 32 byte | CRC 0/1/2 byte |
|----------|------------------|-------|---------------------|----------------|

↑
flag bits.

A ShockBurst™ packet compatible to nRF2401/nRF2402/nRF24E1/nRF24E2 devices.

| | | | |
|----------|------------------|---------------------|----------------|
| Preamble | Address 3-5 byte | Payload 1 - 32 byte | CRC 0/1/2 byte |
|----------|------------------|---------------------|----------------|

| | |
|----------|---|
| Preamble | <ul style="list-style-type: none"> • Preamble is used to detect 0 and 1 levels. It is stripped off (RX) and added (TX) by nRF24L01. |
| Address | <ul style="list-style-type: none"> • The address field contains the receiver address. • The address can be 3, 4 or 5 bytes wide • The address fields can be individually configured for all RX channels and the TX channel • Address is automatically removed from received packets.¹⁶ |
| Flags | <ul style="list-style-type: none"> • PID: Packet Identification. 2 bits that is incremented for each new payload • 7 bits reserved for packet compatibility with future products • Not used when compatible to nRF2401/nRF24E1 |
| Payload | <ul style="list-style-type: none"> • 1 - 32 bytes wide. |
| CRC | <ul style="list-style-type: none"> • The CRC is optional. • 0-2 bytes wide CRC • The polynomial for 8 bits CRC check is $X^8 + X^2 + X + 1$ • The polynomial for 16 bits CRC check is $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$. |

Table 12 Data packet description

¹⁶ Suggested use of addresses. In general more bits in the address gives less false detection, which in the end may give lower data Packet-Error-Rate (PER).

- A. The address made by (5, 4, or 3) equal bytes are not recommended because it in general will make the packet-error-rate increase.
- B. Addresses where the level shift only one time (i.e. 000FFFFFFF) could often be detected in noise that may give a false detection, which again may give raised packet-error-rate.
- C. Addresses as a continuation of the preamble (hi-low toggling) will raise the Packet-Error-Rate (PER).



IMPORTANT TIMING DATA

The following timing applies for operation of nRF24L01.

nRF24L01 Timing Information

| nRF24L01 timing | Max. | Min. | Name |
|------------------------------------|-------|------|----------|
| Power Down → Standby mode | 1.5ms | | Tpd2stby |
| Standby modes → TX/RX mode | 130µs | | Tstby2a |
| Minimum CE high | | 10µs | Ttce |
| Delay from CE pos. edge to CSN low | | 4µs | Tpce2csn |

Table 13 Operational timing of nRF24L01

When the nRF24L01 is in power down it must always settle in Standby for 1.5ms before it can enter one of the TX or RX modes. Note that the configuration word will be lost if VDD is turned off and that the device then must be configured before going to one of the TX or RX mode.

Enhanced ShockBurst™ timing

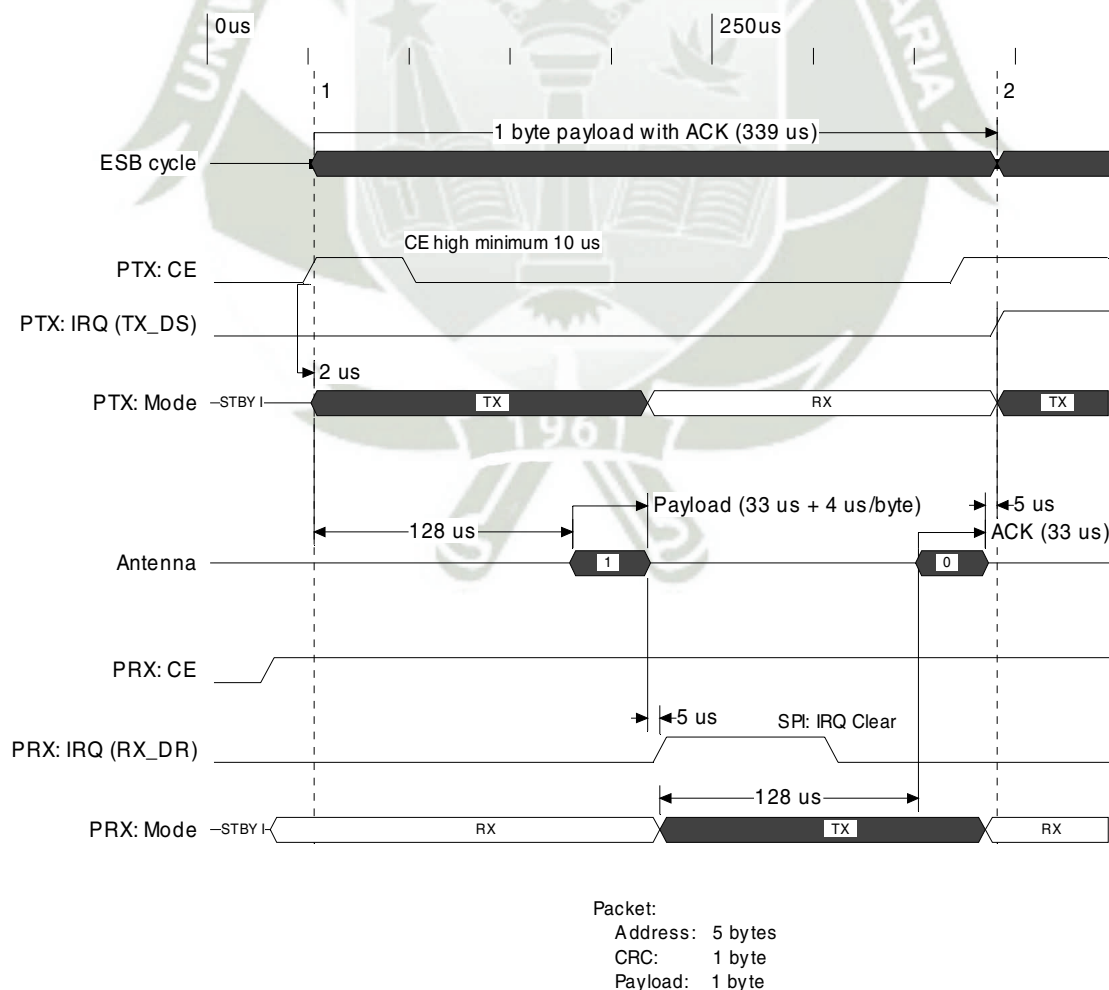


Figure 11 Timing of Enhanced ShockBurst™ for one packet upload (2Mbps).

**nRF24L01 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver**

In Figure 11 the sending of one packet and the acknowledgement of this packet is shown. The loading of payload to the PTX device is not shown in the figure. The PRX device is turned into RX mode (CE=1), and the PTX device is set into TX mode (CE=1 for minimum 10 μ s). After 130 μ s the transmission starts and is finished after another 37 μ s (1 byte payload). The transmission ends, and the PTX device is automatically turned around to RX mode to wait for the acknowledgement from the PRX device. After the PTX device has received the acknowledgement it gives an interrupt to the MCU (IRQ (TX_DS) =>TX-data sent). After the PRX device has received the packet it gives an interrupt to the MCU (IRQ (RX_DR) =>RX-data ready).





PERIPHERAL RF INFORMATION

Antenna output

The ANT1 & ANT2 output pins provide a balanced RF output to the antenna. The pins must have a DC path to VDD, either via a RF choke or via the center point in a dipole antenna. A load of $15\Omega + j88\Omega$ (simulated values) is recommended for maximum output power (0dBm). Lower load impedance (for instance 50Ω) can be obtained by fitting a simple matching network between the load and ANT1 and ANT2.

Output Power adjustment

| SPI RF-SETUP (RF_PWR) | RF output power | DC current consumption |
|--------------------------|-----------------|------------------------|
| 11 | 0 dBm | 11.3 mA |
| 10 | -6 dBm | 9.0 mA |
| 01 | -12 dBm | 7.5 mA |
| 00 | -18 dBm | 7.0 mA |

Conditions: VDD = 3.0V, VSS = 0V, T_A = 27°C, Load impedance = $15\Omega + j88\Omega$.

Table 14 RF output power setting for the nRF24L01.

Crystal Specification

Frequency accuracy includes initial accuracy (tolerance) and stability over temperature and aging.

| Frequency | C _L | ESR max | C _{0max} | Frequency accuracy |
|-----------|----------------|---------|-------------------|--------------------|
| 16MHz | 8 – 16 pF | 100 Ω | 7.0pF | ±60ppm |

Table 15 Crystal specification of the nRF24L01

To achieve a crystal oscillator solution with low power consumption and fast start-up time, it is recommended to specify the crystal with a low value of crystal load capacitance. Specifying a lower value of crystal parallel equivalent capacitance, C₀ will also work, but this can increase the price of the crystal itself. Typically C₀=1.5pF at a crystal specified for C_{0max}=7.0pF.

The crystal load capacitance, C_L, is given by:

$$C_L = \frac{C_1 \cdot C_2'}{C_1 + C_2'}, \text{ where } C_1' = C_1 + C_{PCB1} + C_{I1} \text{ and } C_2' = C_2 + C_{PCB2} + C_{I2}$$

C₁ and C₂ are SMD capacitors as shown in the application schematics. C_{PCB1} and C_{PCB2} are the layout parasitic on the circuit board. C_{I1} and C_{I2} are the capacitance seen into the XC1 and XC2 pin respectively; the value is typical 1pF.



nRF24L01 sharing crystal with a micro controller.

When using a micro controller to drive the crystal reference input XC1 of the nRF24L01 transceiver some rules must be followed.

Crystal parameters:

When the micro controller drives the nRF24L01 clock input, the requirement of load capacitance C_L is set by the micro controller only. The frequency accuracy of ± 60 ppm is still required to get a functional radio link. The nRF24L01 will load the crystal by 0.5pF at XC1 in addition to the PBC routing.

Input crystal amplitude & Current consumption

The input signal should not have amplitudes exceeding any rail voltage, but any DC-voltage within this is OK. Exceeding rail voltage will excite the ESD structure and the radio performance is degraded below specification. If testing the nRF24L01 with a RF source with no DC offset as the reference source, the input signal will go below the ground level, which is not acceptable.

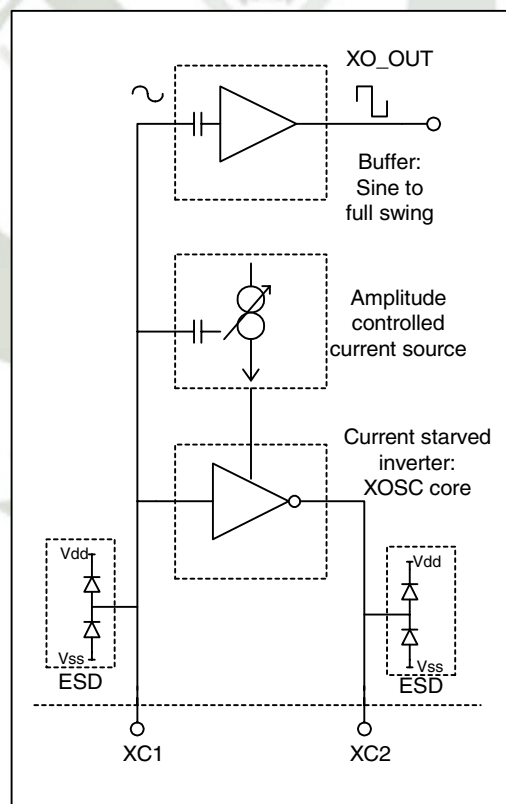


Figure 12 Principle of crystal oscillator

The nRF24L01 crystal oscillator is amplitude regulated. To achieve low current consumption and also good signal-to-noise ratio when using an external clock, it is recommended to use an input signal larger than 0.4 V-peak. When clocked externally, XC2 is not used and can be left as an open pin.



PCB layout and de-coupling guidelines

A well-designed PCB is necessary to achieve good RF performance. Keep in mind that a poor layout may lead to loss of performance, or even functionality, if due care is not taken. A fully qualified RF-layout for the nRF24L01 and its surrounding components, including matching networks, can be downloaded from **www.nordicsemi.no**.

A PCB with a minimum of two layers including a ground plane is recommended for optimum performance. The nRF24L01 DC supply voltage should be de-coupled as close as possible to the VDD pins with high performance RF capacitors, see Table 16. It is preferable to mount a large surface mount capacitor (e.g. 4.7 μ F tantalum) in parallel with the smaller value capacitors. The nRF24L01 supply voltage should be filtered and routed separately from the supply voltages of any digital circuitry.

Long power supply lines on the PCB should be avoided. All device grounds, VDD connections and VDD bypass capacitors must be connected as close as possible to the nRF24L01 IC. For a PCB with a topside RF ground plane, the VSS pins should be connected directly to the ground plane. For a PCB with a bottom ground plane, the best technique is to have via holes as close as possible to the VSS pads. At least one via hole should be used for each VSS pin.

Full swing digital data or control signals should not be routed close to the crystal or the power supply lines.



APPLICATION EXAMPLE

nRF24L01 with single ended matching network crystal, bias resistor, and decoupling capacitors.

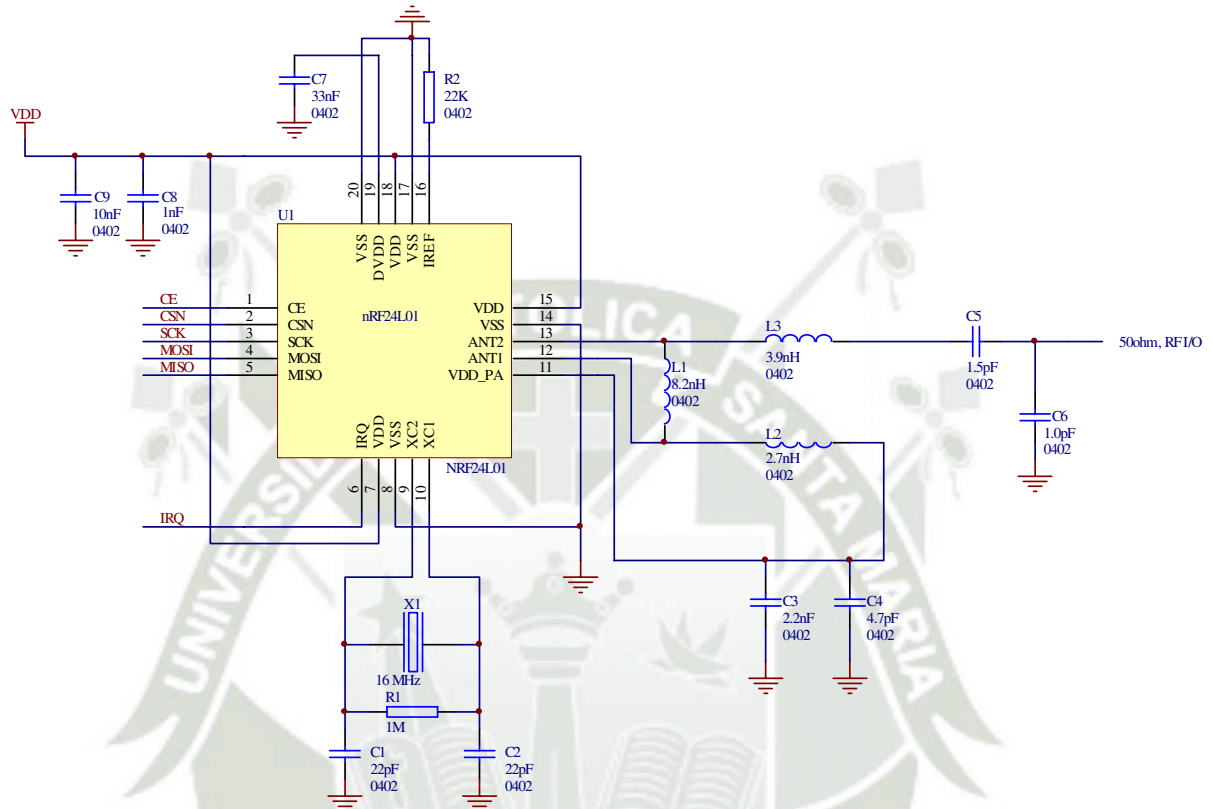


Figure 13 nRF24L01 schematic for RF layouts with single ended 50Ω RF output.

| Part | Designator | Footprint | Description |
|--------------------|------------|-----------|--|
| 22pF ¹⁷ | C1 | 0402 | NPO, +/- 2%, 50V |
| 22pF ¹⁷ | C2 | 0402 | NPO, +/- 2%, 50V |
| 2.2nF | C3 | 0402 | X7R, +/- 10%, 50V |
| 4.7pF | C4 | 0402 | NPO, +/- 0.25 pF, 50V |
| 1.5pF | C5 | 0402 | NPO, +/- 0.1 pF, 50V |
| 1,0pF | C6 | 0402 | NPO, +/- 0.1 pF, 50V |
| 33nF | C7 | 0402 | X7R, +/- 10%, 50V |
| 1nF | C8 | 0402 | X7R, +/- 10%, 50V |
| 10nF | C9 | 0402 | X7R, +/- 10%, 50V |
| 8,2nH | L1 | 0402 | chip inductor +/- 5% |
| 2.7nH | L2 | 0402 | chip inductor +/- 5% |
| 3,9nH | L3 | 0402 | chip inductor +/- 5% |
| 1M | R1 | 0402 | +/-10% |
| 22K | R2 | 0402 | +/- 1 % |
| nRF24L01 | U1 | QFN20 4x4 | |
| 16MHz | X1 | | +/-60ppm, C _L =12pF ¹⁷ |

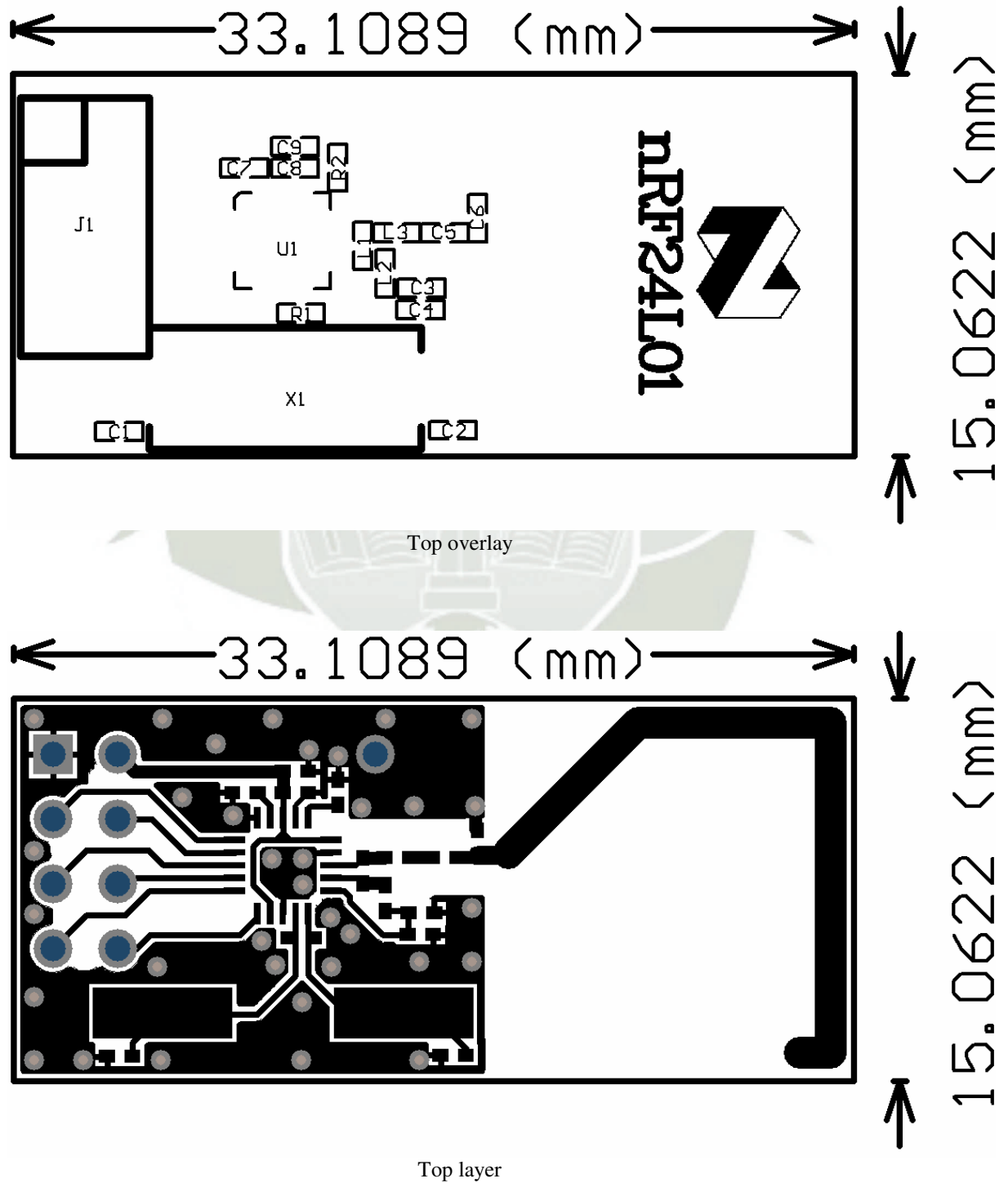
Table 16 Recommended components (BOM) in nRF24L01 with antenna matching network

¹⁷ C1 and C2 must have values that match the crystals load capacitance, C_L.



PCB layout examples

Figure 14 shows a PCB layout example for the application schematic in Figure 13. A double-sided FR-4 board of 1.6mm thickness is used. This PCB has a ground plane on the bottom layer. Additionally, there are ground areas on the component side of the board to ensure sufficient grounding of critical components. A large number of via holes connect the top layer ground areas to the bottom layer ground plane.



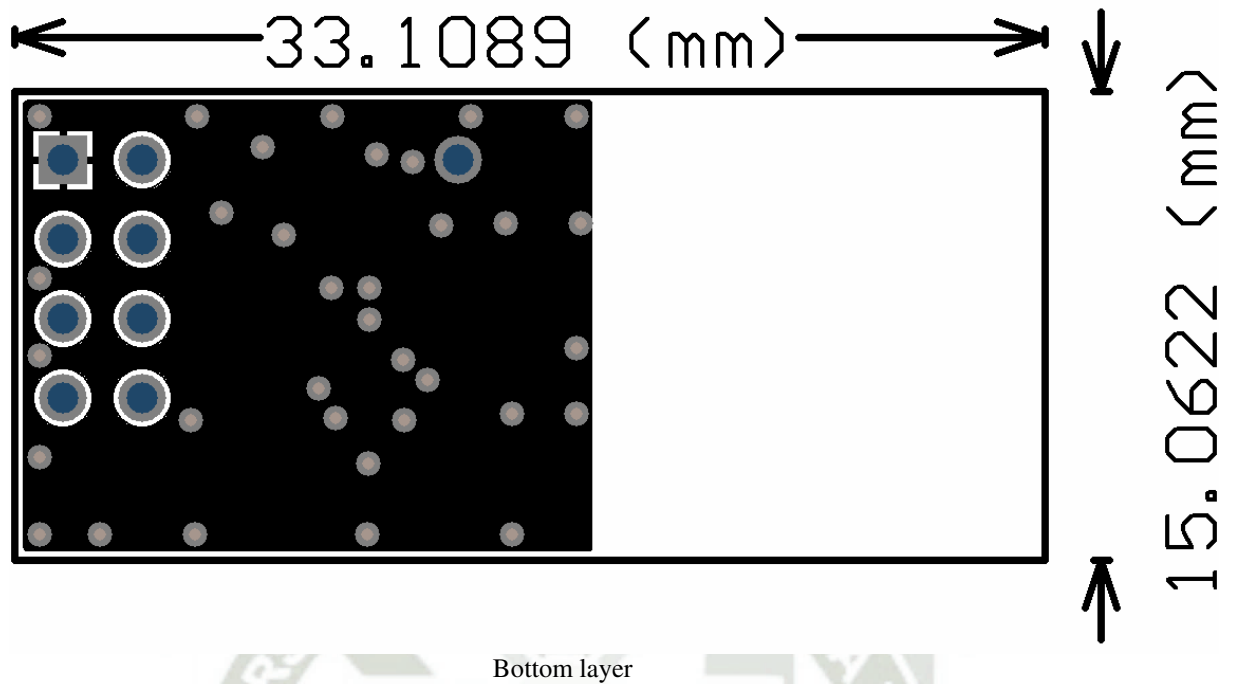
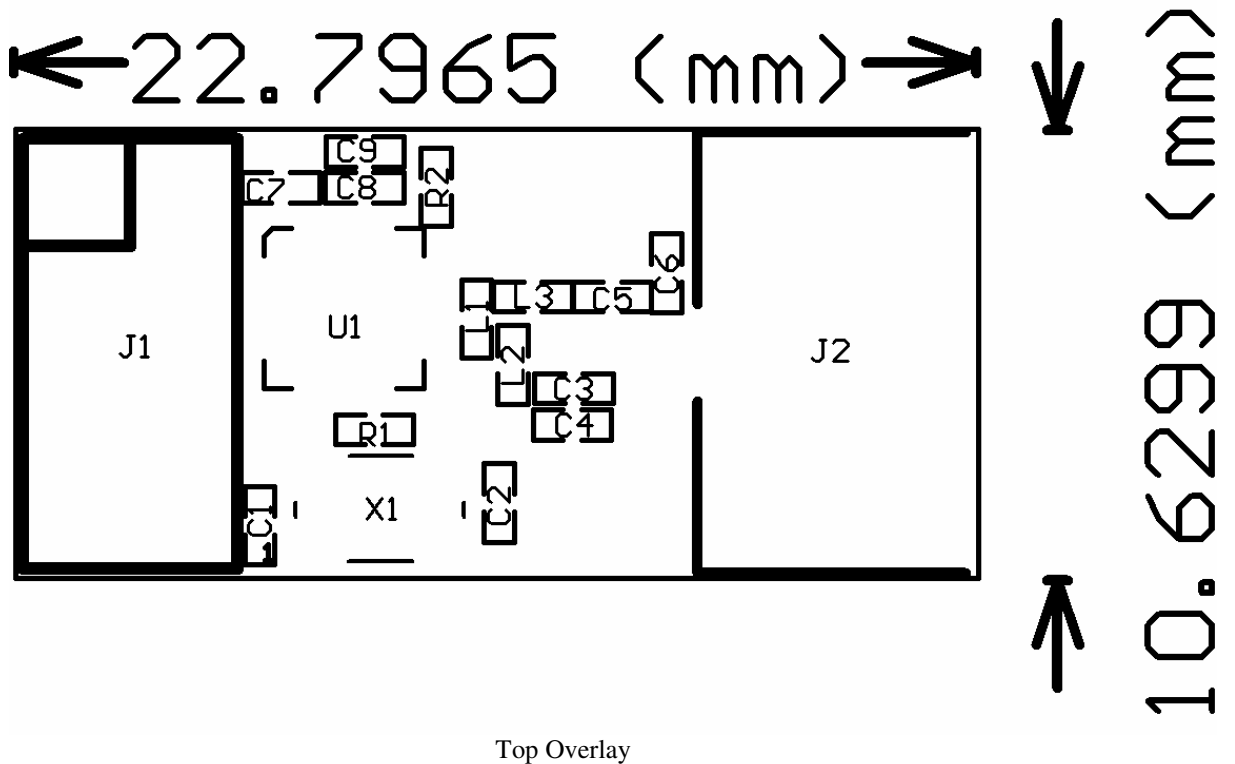


Figure 14 nRF24L01 RF layout with single ended connection to PCB antenna and 0603 size passive components

The next figure (Figure 15) is for the SMA output to have a board for direct measurements at a 50Ω SMA connector.



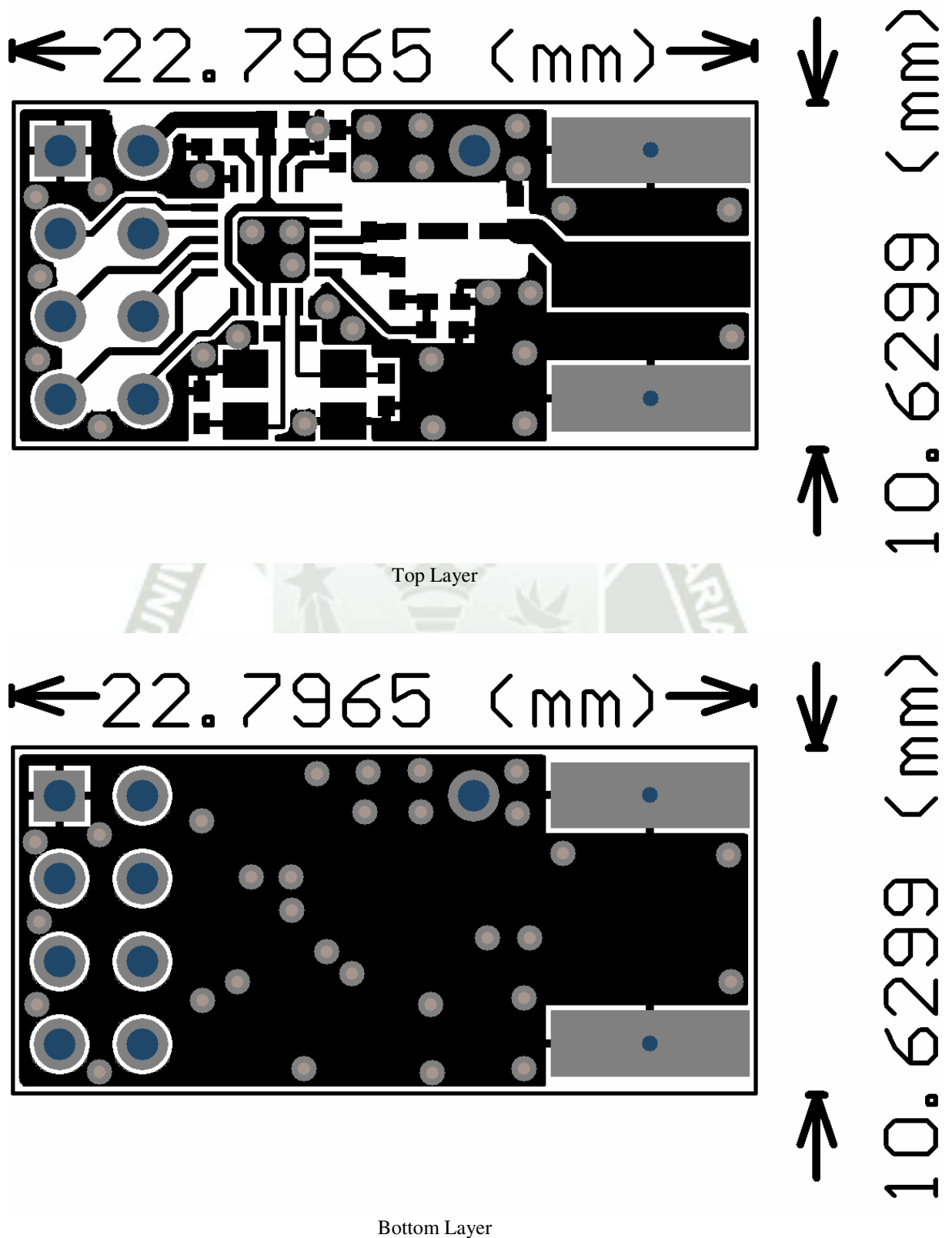


Figure 15 Module with OFM crystal and SMA connector



DEFINITIONS

| Data sheet status | |
|---|--|
| Objective product specification | This data sheet contains target specifications for product development. |
| Preliminary product specification | This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published from Nordic Semiconductor ASA later. |
| Product specification | This data sheet contains final product specifications. Nordic Semiconductor ASA reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design and supply the best possible product. |
| Limiting values | |
| Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Specifications sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability. | |
| Application information | |
| Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification. | |

Table 17. Definitions

Nordic Semiconductor ASA reserves the right to make changes without further notice to the product to improve reliability, function or design. Nordic Semiconductor ASA does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuits described herein.

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Nordic Semiconductor ASA customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Nordic Semiconductor ASA for any damages resulting from such improper use or sale.

Preliminary Product Specification: Revision Date: 08.03.2006.

Data sheet order code: 080306-nRF24L01

All rights reserved ®. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written permission of the copyright holder.



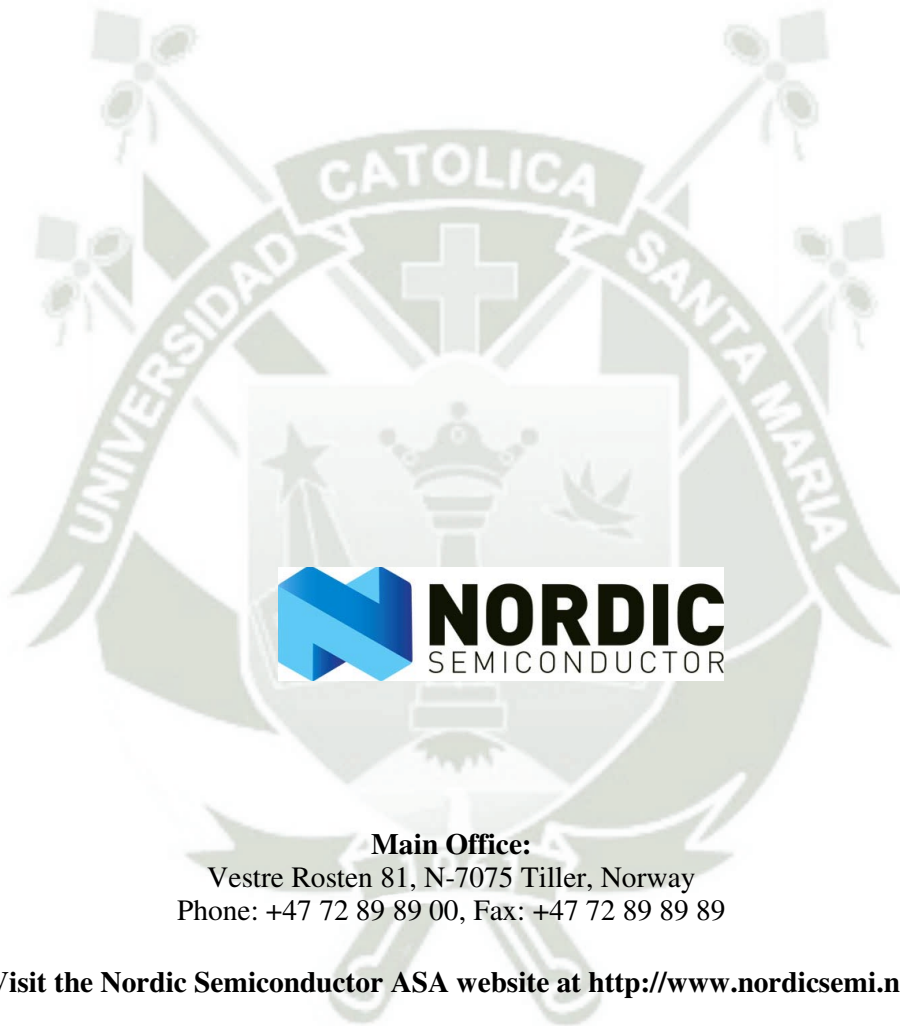
YOUR NOTES





Nordic Semiconductor ASA – World Wide Distributors

For Your nearest dealer, please see <http://www.nordicsemi.no>



Main Office:

Vestre Rosten 81, N-7075 Tiller, Norway
Phone: +47 72 89 89 00, Fax: +47 72 89 89 89

Visit the Nordic Semiconductor ASA website at <http://www.nordicsemi.no>



Mini Cámara Espía 1080 Seisa IPC-NA9

Seisa 1000477926



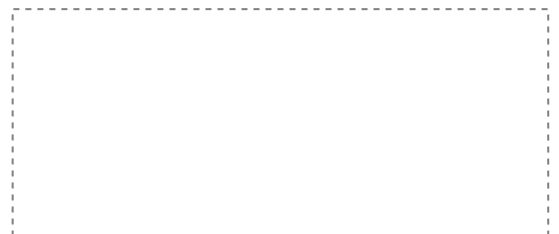
FICHA TÉCNICA

| | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Peso 1 | Características detallado |
| Garantía 3 meses | Estabilizador de imagen No |
| Modelo IPC-NA9 | Marca Seisa |
| Potencia Si | Alto 10 |
| Ancho 4 | Largo 10 |
| Resolución HD | Pantalla Touch No |
| Wi Fi No | Tipo De Pantalla Circular |
| Incluye Camara | |

Despacho a Domicilio



Financiamiento



Mini Cámara Espía 1080 Seisa IPC-NA9

