



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

ROBOT EXPLORADOR DE DUCTOS

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA MECATRÓNICA**

GERMANIA PAOLA JARAMILLO QUIROZ

DIRECTOR: ING. MARCELA PARRA P. MSC

Quito, Julio 2013

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2013
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **GERMANIA PAOLA JARAMILLO QUIROZ**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Germania P. Jaramillo Q.

1721970000

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Robot Explorador de Ductos**”, que, para aspirar al título de **Ingeniera Mecatrónica** fue desarrollado por **Germania P. Jaramillo Q.**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Ing. Marcela Parra P. MSC
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I. 1803107596

DEDICATORIA

A mis padres, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como humana, por su incondicional apoyo y amor perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mi hermano, quien con sus locuras me motivo a seguir siempre adelante, hasta alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por el aliento continuo para alcanzar esta meta...

A un ser muy especial que la vida se encargó de poner en mi camino, y desde entonces se ha convertido en mi ángel guardián, por tu paciencia, comprensión, apoyo y amor muchas gracias...

A mis maestros quienes supieron compartir sus conocimientos, en especial a mi directora de tesis Ing. Marcela Parra y al Ing. Manuel Rosabal...

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ECUACIONES	ix
NOMENCLATURA O GLOSARIO	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO REFERENCIAL	5
2.1 REDES DE ALCANTARILLADO	5
2.1.1 MANTENIMIENTO	5
2.2 ROBÓTICA	8
2.2.1 CLASIFICACIÓN	9
2.2.2 ROBOT MÓVIL	9
2.2.2.1 Robot Explorador	10
2.3 SISTEMA EMBEBIDO	11
2.3.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA EMBEBIDO	12
2.3.1.1 Microcontroladores	14
2.3.1.2 Microprocesador	15
2.3.1.3 Diferencias entre microprocesador y microcontrolador	15
2.3.1.4 Actuadores	17
2.3.1.4.1 Actuadores Eléctricos	18
2.3.1.5 Servomotores	20
2.3.1.6 Sensores	22
2.3.1.6.1 Tipos de Sensores	23
2.4 CÁLCULO DE TORQUE	24
2.5 COMUNICACIÓN DE DATOS	25
2.5.1 MEDIOS O CANALES DE COMUNICACIÓN	26
2.5.1.1 Dispositivos De Comunicación	26
2.5.2 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	27
2.5.2.1 WiFi	27
2.6 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	28
2.6.1 LENGUAJES DE ALTO NIVEL	29

2.6.1.1 Características de los Lenguajes de alto nivel	29
2.6.2 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN VISUAL	30
3. METODOLOGÍA	
3.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA	32
3.1.1 DISEÑO MECÁNICO	33
3.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO MECÁNICO	34
3.2 SISTEMA DE LOCOMOCIÓN	35
3.3 MATERIALES	37
3.3.1 BASES DE LA ESTRUCTURA	37
3.3.2 BASES DE LOS MOTORES	40
3.4 DISEÑO ELECTRÓNICO	42
3.5 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE ENTRADA – SALIDA	43
3.5.1 DISPOSITIVOS DE ENTRADA	43
3.5.2 DISPOSITIVOS DE SALIDA	46
3.5.3 DISPOSITIVOS DE POTENCIA	49
3.5.4 DISPOSITIVOS DE COMUNICACIÓN	51
3.6 DISEÑO DE CONTROL	53
3.6.1 SELECCIÓN LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	55
3.6.1.1 Lenguajes Visuales	56
3.7 DISEÑO DEL SISTEMA	57
3.8 DISEÑO MECÁNICO IMPLEMENTADO	57
3.8.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA BASE Y SISTEMA DE LOCOMOCIÓN	60
3.8.2 ESTRUCTURA DE FIJACIÓN PARA LA WEBCAM	64
3.9 SISTEMA ELECTRÓNICO Y CONTROL	66
3.9.1 FUNCIONAMIENTO ELECTRÓNICO	67
3.9.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE ENTRADA, SALIDA Y POTENCIA	71
3.9.2.1 Funcionamiento del US-100 para Detección de Obstáculos	72

3.9.2.2 Resolución de distancia	72
3.9.2.3 Control de sentido de giro de los motores DC	75
3.10 SOFTWARE DE CONTROL	76
3.10.1 FUNCIÓN DEL PROGRAMA DESARROLLADO EN LENGUAJE C	78
3.11 CINEMÁTICA DEL MÓVIL	79
3.11.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL	82
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO	84
4.2 MODO DE OPERACIÓN	86
4.2.1 ENCENDIDO Y ESTADO DE BATERÍA	86
4.2.2 CONFIGURACIÓN DE LA RED	88
4.2.2.1. Configuración WiFi	90
4.2.2.2 Acceso a OpenWRT por consola	91
4.2.3 INTERFAZ GRÁFICA ROBOT EXPLORADOR	92
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 CONCLUSIONES	94
5.2 RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS	102

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Propiedades del Acrílico	40
Tabla 2. Propiedades del Aluminio	41
Tabla 3. Funcionamiento US 100	45
Tabla 4. Selección de Servomotor	47
Tabla 5. Selección de Motores según rango de voltaje y corriente	49
Tabla 6. Características transistor D880Y	51
Tabla 7. Módulo WiFi FAST FWR 171	53
Tabla 8. Dispositivos de Entrada y Salida del Sistema	54
Tabla 9. Características Arduino Duemilanove	54
Tabla 10. Comparación entre lenguajes de bajo y alto nivel	56
Tabla 11. Condiciones de funcionamiento del sistema	67
Tabla 12. Asignación y descripción de pines de contacto	72
Tabla 13. Parámetros de funcionamiento L293D (Datasheet AST L293D)	75
Tabla 14. Datos Prácticos Uso de Servos	85

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Sistema de inyección para limpieza	7
Figura 2. Presión suministrada para un ducto	7
Figura 3. Comunicación GSM	13
Figura 4. Estructura de un sistema abierto basado en un microprocesador	16
Figura 5. Sistema Cerrado de un Microcontrolador	16
Figura 6. Actuadores Neumáticos e Hidráulicos	17
Figura 7. Motor DC	18
Figura 8. Motor DC vs Motor AC	19
Figura 9. Motor Paso a Paso con Reductor	19
Figura 10. Funcionamiento interno de un servomotor	20
Figura 11. Orientación de un servomotor	21
Figura 12. Terminales de Conexión	22
Figura 13. Esquema funcionamiento de sensores	23
Figura 14. Forma de selección de un motor en base a torque	24
Figura 15. Comunicación WiFi	28
Figura 16. Proceso Metodología Mecatrónica	32
Figura 17. Proceso de Diseño Mecánico	34
Figura 18. Sistema Diferencial Tracción Delantera con Rueda Loca	36
Figura 19. Distribución de Cargas	38
Figura 20. Placa Base	38
Figura 21. Deformación Unitaria del Aluminio vs Bronce y Acero	40
Figura 22. Base Motor	41
Figura 23. Proceso de Diseño Electrónico	43
Figura 24. Webcam	44
Figura 25. Sensor de Proximidad US 100	45
Figura 26. Diagrama de Flujo para funcionamiento de dispositivo de salida	46
Figura 27. Servomotor de 9g	47

Figura 28. Diferencia de voltaje entre un motor DC y motor AC	48
Figura 29. Integrado L293D	50
Figura 30. Diagrama de Pines L293D	50
Figura 31. Comunicación Inalámbrica	51
Figura 32. Módulo WiFi FAST FWR 171	53
Figura 33. Arduino Duemilanove	55
Figura 34. Entorno de programación en Visual	57
Figura 35. Vista de Perfil Robot Explorador	58
Figura 36. Vista inferior del robot	59
Figura 37. Diseño final del robot	59
Figura 38. Esquema de placas base	60
Figura 39. Diseño de las ruedas	61
Figura 40. Rueda Móvil Explorador	61
Figura 41. Diseño de soporte de fijación para rueda loca	62
Figura 42. Union soporte - rueda	62
Figura 43. Pasador para fijación de rueda loca a estructura base	63
Figura 44. Rueda Loca	63
Figura 45. Perfiles para fijación de motor izquierdo y derecho	64
Figura 46. Motor DC con reductor de velocidad	64
Figura 47. Diseño de la base de la estructura de fijación para la webcam	65
Figura 48. Soporte para servo superior	65
Figura 49. Anclamiento del primer servomotor en la base	65
Figura 50. Fijación del servo en los soportes superiores	66
Figura 51. Estructura de fijación para la webcam (vista por ambos lados)	66
Figura 52. Placa de Control	67
Figura 53. Circuito de Alimentación a 5V	68
Figura 54. Interfaz del router	68
Figura 55. Terminal de conexión del módulo WiFi	69
Figura 56. Canales de conexión para motores DC	69
Figura 57. Módulo de Interfaz	70

Figura 58. Conector para baterías	71
Figura 59. Bornera con salida de 8.4V	71
Figura 60. Entrada para plug del cargador de pared	71
Figura 61. Componentes US 100	72
Figura 62. Diagrama de Temporización	73
Figura 63. Determinación de distancias	75
Figura 64. Conexión del Control de Motores	76
Figura 65. Diagrama de bloques control del explorador	76
Figura 66. Diagrama de flujo tarjeta de control	77
Figura 67. Diagrama de flujo del programa	78
Figura 68. Parámetros de un móvil con sistema diferencial tracción delantera	79
Figura 69. Posicionamiento de un móvil con sistema diferencial	81
Figura 70. Diagrama de Control del Sistema del Robot Explorador	82
Figura 71. Vista superior Robot Explorador de Ductos	86
Figura 72. Encendido del explorador	87
Figura 73. Indicadores de Energía y Funcionamiento	87
Figura 74. Configuración de la Red	88
Figura 75. Asignación de IP	89
Figura 76. Interfaz de acceso a OpenWRT	89
Figura 77. Opciones de configuración WiFi	90
Figura 78. Reconocimiento de la red WiFi-robots	91
Figura 79. Acceso a OpenWRT por consola	91
Figura 80. Indicador de transmisión del modem	92
Figura 81. Interfaz de Usuario	92
Figura 82. Vista frontal Robot explorado terminado	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

		Página
Ecuación 2.1	Duración del pulso de un servomotor	21
Ecuación 2.2	Cálculo de torque	24
Ecuación 3.3	Cálculo de esfuerzo	37
Ecuación 3.4	Fuerza Resultante	38
Ecuación 3.5	Área Total	38
Ecuación 3.6	Área Trapecio	39
Ecuación 3.7	Área Rectángulo	39
Ecuación 3.8	Cálculo de distancia de objetos (US100)	45
Ecuación 3.9	Velocidad del sonido	73
Ecuación 3.10	Cálculo de distancia independiente de temperatura	74
Ecuación 3.11	Velocidad lineal llanta izquierda	80
Ecuación 3.12	Velocidad lineal llanta derecha	80
Ecuación 3.13	Velocidad lineal del móvil	80
Ecuación 3.14	Velocidad angular del móvil	80
Ecuación 3.15	Velocidad de giro llanta izquierda	81
Ecuación 3.16	Velocidad de giro llanta derecha	81
Ecuación 3.17	Posición del móvil	81
Ecuación 3.18	Reemplazo de posición	81
Ecuación 3.19	Desplazamiento horizontal	82
Ecuación 3.20	Desplazamiento vertical	82

NOMENCLATURA O GLOSARIO

(EMAAP-Q	Empresa Metropolitana de agua Potable y Alcantarillado
O/M	Operación y Mantenimiento
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
SE	Sistema Embebido
E/S	Entrada/Salida
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Continua
PTC	Termistor, Coeficiente de temperatura positivo
NTC	Termistor, Coeficiente de temperatura negativo

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1	
Datasheet Dispositivos Electrónicos	102
ANEXO 2	
Código de Programación	103
ANEXO 3	
Planos Robot Explorador de Ductos	104

RESUMEN

En el actual proyecto se realizó un robot explorador de ductos que permitirá detectar a tiempo obstrucciones en tuberías del sistema de alcantarillado de la ciudad y con esto dar paso a la programación de un buen mantenimiento preventivo que evitaría los colapsos y desbordes que año a año afectan a la ciudad durante la época invernal. En el siguiente trabajo se presenta a breves rasgos la descripción del sistema de alcantarillado con el que cuenta la ciudad así como también los problemas que ha venido enfrentando a lo largo del desarrollo urbano, la forma de mantenimiento y limpieza es otro punto importante de este proyecto, así como el beneficio que proporciona un robot explorador de bajo costo. Se describió el funcionamiento global del explorador, además de definiciones generales de instrumentos y equipos utilizados para el desarrollo del proyecto, las características de cada componente seleccionado para la implementación del móvil, el funcionamiento de los mismos y un análisis de las variables que podrían afectar el óptimo desempeño del explorador, poniendo siempre en consideración los lineamientos de la metodología mecatrónica, así como los criterios de diseño, para lograr obtener el desarrollo del software y del hardware que se utilizó en el proyecto, hasta llegar a realizar un análisis de los resultados obtenidos, así como también un instructivo de funcionamiento con los principales puntos, que permitirá realizar una recopilación de conclusiones y recomendaciones.

ABSTRACT

In the current project rover performed a pipeline that will allow early detection of blockages in sewer pipes of the city and thereby make way for programming a good preventive maintenance to avoid breakdowns and overflows every year that affect to the city during the winter. In the following paper presents a brief overview of the description of the sewer system in which the city as well as the problems it has been facing over urban development, maintenance and cleaning way is another important point of this project as well as the benefit that provides a low cost rover. It describes the overall operation of the browser, in addition to general definitions of instruments and equipment used for the project, the characteristics of each component selected for the implementation of mobile operation thereof and an analysis of the variables that could affect the scout optimum performance, always putting into consideration the guidelines of mechatronics methodology and design criteria, in order to obtain the development of software and hardware that was used in the project, up to an analysis of the results obtained , as well as operating an instruction to the main points, to perform a compilation of findings and recommendations.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo urbano de nuestra sociedad depende de sistemas de infraestructura confiables y estos se logran a través de la inspección continua, mantenimiento y actualización de las estructuras subterráneas de servicios públicos que se ofrecen en nuestra comunidad como es el caso del sistema de alcantarillado y recolección de aguas servidas.

A medida que se produce el envejecimiento de los sistemas de alcantarillado, el riesgo de deterioro, obstrucciones y derrumbes se convierte en una consideración muy importante.

Esta problemática es enfrentada por la mayoría de los municipios de ciudades alrededor del mundo; sin embargo para el desarrollo de este proyecto de tesis se tomará como base el sistema de alcantarillado de la ciudad de Quito.

La ciudad de Quito está asentada en una planicie alargada al pie del volcán Pichincha y posee un alcantarillado de tipo combinado, es decir que por los mismos conductos circulan las aguas de lluvia que se originan en los sectores urbanos y no urbanos que drenan hacia la ciudad y las aguas servidas producto de las actividades humanas en los sectores urbanizados.

El crecimiento descontrolado de la ciudad ha ocasionado que este tipo de sistema sea insuficiente para cubrir las demandas de todos sus habitantes.

La salida a este inconveniente, sería la implementación de un sistema separado. Este sistema consiste en la recolección de las aguas servidas en un solo ducto y en otro conducto las aguas pluviales; lo cual resulta impracticable por los costos económicos y ambientales de dicha medida. Por ello la única opción son mantenimientos constantes para evitar un posterior colapso.

(EMAAP-Q, 2012)

Los bloqueos de alcantarillado pueden reducir tanto la capacidad hidráulica de las tuberías como su capacidad efectiva de almacenamiento; y esto puede causar que el flujo se represe y cause desbordes en el alcantarillado.

La planificación de un adecuado mantenimiento en los ductos del sistema de alcantarillado constituye una parte de la solución a esta problemática; mas la inaccesibilidad a muchos de estos es algo que impide la detección de obstrucciones a tiempo, terminando en la inevitable tarea de realizar un mantenimiento correctivo que demanda una fuerte inversión en la mayoría de los casos.

El presente proyecto de titulación “Robot Explorador de Ductos”, permitirá la detección de posibles obstrucciones dentro de los ductos de la red de alcantarillado presentándose como una opción que facilitará la planificación de mantenimientos preventivos por parte de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable.

Actualmente para dar solución a este problema el departamento de alcantarillado de la EMAAP-Q de Quito cuenta con la operación de dos exploradores que ayudan a la realización de un mantenimiento preventivo al detectar obstrucciones, fallas estructurales o deformaciones al registrar los ductos.

Teniendo este nivel de tecnología, se plantea la interrogante de por qué siguen colapsando varios colectores en la ciudad y la realidad es que el municipio necesita una mayor cantidad de recursos para los mantenimientos.

Existen en el mercado robots exploradores con un alto costo que varía de 35000usd hasta 200000usd.

(EMAAP-Q, 2012)

Con estos antecedentes se originan las preguntas ¿Es posible construir un Robot Explorador que detecte obstrucciones dentro de ductos a un bajo costo?

¿El emplear un Explorador para cada inspección realizada ayudaría a mantener en mejor estado los ductos del sistema de alcantarillado?

En base a las preguntas planteadas el objetivo principal del presente proyecto es:

- Desarrollar un robot explorador de ductos que permita observar el interior de lugares inaccesibles para el hombre.

Y para llegar a conseguir este objetivo se debe cumplir con los objetivos específicos que son:

- Diseñar un robot móvil de exploración capaz de adaptarse a la superficie de los ductos de los colectores.
- Diseñar la estructura mecánica y el sistema de control del robot explorador.
- Implementar de un sistema de visión artificial al robot para la obtención de imágenes.

Con los objetivos planteados se resume el desarrollo del proyecto de tesis a construir, un Robot Explorador que sea capaz de reconocer obstrucciones en ductos que posean un diámetro que oscila entre 0.70m; debido a que no existe una medida específica dentro del diseño de los colectores en la ciudad, y que pueda desplazarse viajando a través de ellos en profundidades máximas de 20m.

Como se indicó en un inicio el proyecto puede ser orientado a cualquier tipo de cavidad cilíndrica, conociendo las condiciones mínimas para maniobrar al explorador, dimensiones físicas concordantes, ambiente libre de vapores explosivos y de cavidades inundadas en su totalidad de sustancias líquidas.

En general el robot explorador puede operar en las superficies internas de ductos, tuberías y cañerías: donde sea imposible el acceso humano directamente o a través de máquinas específicas, por razones de dimensión y peligrosidad, obteniendo como beneficio:

- El ahorro de la abertura de zanjas, para el caso de cañerías
- Desmonte de ductos para el caso de las industrias
- Desconexión de tuberías en general.
- Costo accesible.

2. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de este capítulo corresponde al análisis bibliográfico de los agentes o elementos inmersos en el desarrollo del proyecto, se inicia con una definición general de las redes de alcantarillado, hasta llegar al análisis de la utilidad de los lenguajes de programación en el proceso de control.

2.1 REDES DE ALCANTARILLADO

Se denomina alcantarillado o red de alcantarillado al sistema de estructuras, ductos y tuberías usados para el transporte de aguas residuales o servidas (alcantarillado sanitario), o aguas de lluvia (alcantarillado pluvial) desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten a cauce o se tratan.

Existen tres tipos de sistemas de alcantarillado:

a. Sistema combinado

Es la red de alcantarillado que recibe las aguas residuales y las aguas pluviales al mismo tiempo.

b. Sistema separado

Recolecta en un solo conducto las aguas servidas y en otro conducto las aguas pluviales. Están dispuestos según el eje de la calzada, a un metro de distancia entre colectores y van paralelamente.

c. Sistema semicombinado

Es el que recibe las aguas negras y aguas pluviales provenientes de los patios o áreas edificadas.

2.1.1 MANTENIMIENTO

La operación y el mantenimiento de la red de alcantarillado en la ciudad, están a cargo de la EMAAP-Q.

El mantenimiento de las tuberías puede separarse en dos componentes principales, uso de métodos de diagnóstico para identificar puntos con problemas potenciales y las inspecciones físicas de las tuberías por grietas, rupturas o bloqueos. (EMAAP-Q, 2012)

El uso de métodos de diagnóstico permite a los operadores predecir en donde pueden ocurrir problemas en las tuberías, logrando así un uso más eficiente de los recursos de operación y mantenimiento (O/M).

El mantenimiento apropiado del alcantarillado requiere un conocimiento del sistema, lo cual incluye información sobre su antigüedad, las áreas de servicio, la elevación de las estructuras de alcantarillado y las pendientes de los ductos. Las inspecciones en el sistema de alcantarillado son utilizadas para identificar taponamientos, agrietamientos y otros problemas en los ductos.

Los taponamientos típicamente son el resultado de la acumulación de sedimentos y arenisca en el sistema de alcantarillado, por otro lado la vegetación desprendida y los detritos (desechos) también pueden restringir el flujo. Otra causa de taponamiento común son las raíces de árboles que pueden crecer a través de grietas en los ductos.

El sistema de alcantarillado requiere un programa de limpieza para mantener su funcionamiento apropiado.

Existen varias técnicas que son usadas tradicionalmente para eliminar obstrucciones y como herramientas de mantenimiento preventivo.

El sistema más usado en el DMQ (Distrito Metropolitano de Quito) es el que utiliza inyección de agua a presión (750kg/cm^2), que es introducida a través de una manguera en cuyo extremo lleva una tobera, estas llevan en su parte posterior y en forma de anillo una serie de orificios con cierto grado de

inclinación (35 y 45 grados) para poder ir lanzando el agua y a la vez poder ir avanzando, como se indica en la figura 1.

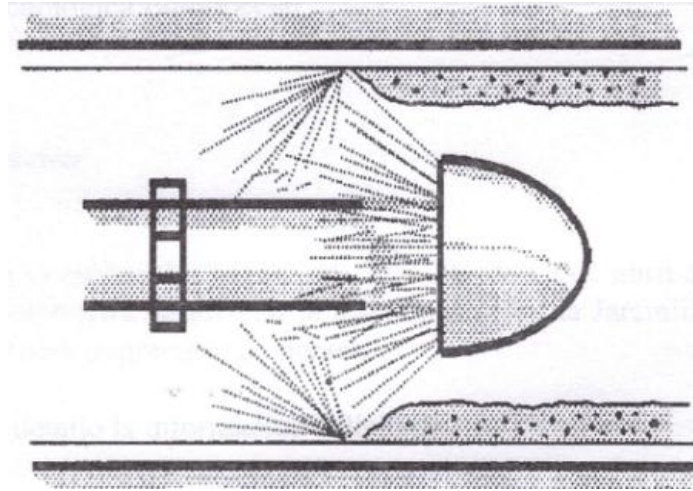


Figura 1. Sistema de inyección para limpieza
(EMAAP-Q, 2012)

La presión es suministrada por un motor ubicado en un camión con cierta capacidad de almacenaje de agua, mostrado en la figura 2.



Figura 2. Presión suministrada para un ducto
(EMAAP-Q, 2012)

Para pequeños diámetros (hasta 300mm), se utilizan equipos de limpieza manual, que consisten en varillas con varios accesorios de limpieza, tales

como: ganchos, tirabuzones, raspadores de pared, corta raíces, guías para varillas y quebradoras de arena. (EMAAP-Q, 2012)

2.2 ROBÓTICA

La robótica es un área de investigación y desarrollo de aplicaciones muy diversas. Su utilización es masiva en la industria, y actualmente su creciente uso en aplicaciones de asistencia y servicio, hacen de ella un área de mucho interés tanto en el presente como en el futuro.

Para fines de estudio se considera que existen dos grandes grupos en los que se divide la robótica: robots manipuladores, que están implantados de forma muy importante en la industria, y aunque aún se investiga sobre ellos dentro de áreas muy concretas, su interés va siempre ligado a la tarea concreta que realizan, y robots móviles, que son mucho más recientes y la investigación en este campo es más activa que en el área anterior.

La expresión “robot” inicia en los años veinte del siglo XX, y deriva del checo *robota*, que significa “trabajador forzado”. La velocidad con la que han evolucionado los robots hace que sea difícil dar una definición exacta de los mismos, sin embargo la más aceptada es la propuesta por la Asociación de Robótica Industrial (RIA), que define un robot como: “Un manipulador programable y multifuncional, diseñado para mover cargas, piezas, herramientas u otros dispositivos, según trayectorias variadas, programadas para realizar diferentes trabajos.” (Baturone, 2001).

La palabra robot puede referirse tanto a mecanismos físicos como a sistemas virtuales de software, No existe una aprobación sobre qué máquinas pueden ser consideradas robots, pero sí en algo se puede estar de acuerdo es en que los robots tienden a hacer parte o todo lo que sigue: moverse, hacer funcionar un brazo mecánico, detectar y manipular su entorno además de mostrar un comportamiento en muchos casos inteligente

o autónomo. Actualmente podría considerarse que un robot es una computadora con la capacidad y el propósito de movimiento que en general es capaz de desarrollar múltiples tareas de manera flexible según su programación; así que puede diferenciarse de algún electrodoméstico específico. (Baturone, 2001)

2.2.1 CLASIFICACIÓN

Debido a la multitud de parámetros existentes, resulta difícil realizar una clasificación exacta de los tipos de robots, no obstante, una de las más conocidas formas de clasificación es la determinada por su arquitectura.

Cabe recalcar que pese a que la clasificación anterior es la más conocida, existen otras no menos importantes, donde se toma más en cuenta la robustez del software; lo que es determinante para la utilidad y flexibilidad del robot dentro de las limitantes del diseño mecánico y la capacidad de los sensores.

De acuerdo a esta posición los robots han sido clasificados según su generación, su nivel de inteligencia, nivel de control y nivel de lenguaje de programación. (Somolinos, 2002)

Sin embargo para el desarrollo de este proyecto de tesis se dará una breve descripción de un robot móvil que se encuentra dentro de la clasificación según la arquitectura.

2.2.2 ROBOT MÓVIL

El desarrollo de robots móviles responde a la necesidad de extender el campo de aplicación de la robótica, su importancia se basa en poseer un espacio de trabajo ilimitado, a diferencia de los robots manipuladores fijos los cuales están restringidos a cumplir tareas dentro de un espacio de

trabajo determinado por sus dimensiones físicas. Por lo tanto, con la finalidad de aumentar la movilidad del robot y de esta manera su capacidad de trabajo, se hace uso de un sistema locomotor para que el robot pueda desplazarse libremente en su espacio de trabajo.

Además, estos robots tienen la capacidad de adaptarse a una gran diversidad de terrenos y actuar en diversos ambientes.

Los robots móviles están provistos de sistemas de locomoción como patas, ruedas u orugas (su morfología es variable dependiendo del entorno y de la tarea a realizar) que los capacitan para desplazarse de acuerdo a su programación.

Procesan la información que reciben a través de sus propios sensores y gracias a estos y a su programación, pueden guiarse por el entorno ya sea de manera autónoma, monitorizados o inclusive teledirigidos; en este último caso, el robot mantiene una comunicación constante con el operador, sea por cable o inalámbricamente. (Somolinos, 2002)

2.2.2.1 Robot Explorador

El principal propósito de un móvil explorador es conseguir que este realice su tarea con la adecuada precisión, velocidad e inteligencia (de ser necesaria), y para este fin es preciso que el dispositivo tenga conocimiento tanto de su propio estado como el estado de su entorno.

La información relacionada con su estado y la posición de sus articulaciones, fundamentalmente la consigue con los denominados sensores internos, mientras que la que se refiere al estado de su entorno, se adquiere con los sensores externos.

2.3 SISTEMA EMBEBIDO

Se entiende por sistemas embebidos (SE), a una combinación de hardware y software, sumado tal vez a algunas piezas mecánicas o de otro tipo, diseñado para tener una función específica. Es común el uso de estos dispositivos pero pocos se dan cuenta que hay un procesador y un programa ejecutándose que les permite funcionar.

Muchas veces un sistema embebido es un componente de un sistema mucho más grande, como por ejemplo: los sistemas de frenos o el sistema de inyección de combustible en automóviles actuales

Esta combinación de software y hardware puede ser reemplazada en muchos casos por un circuito integrado que realice la misma tarea. Pero una de las ventajas de los sistemas embebidos es su flexibilidad, ya que a la hora de realizar alguna modificación resulta mucho más sencillo modificar unas líneas de código al software del sistema embebido que reemplazar todo el circuito integrado.

En general, un sistema embebido está formado por un microprocesador cuyo hardware y software están concretamente diseñados y perfeccionados para resolver un problema de manera exacta y eficiente.

Un sistema embebido simple contará con un microprocesador, memoria, unos pocos periféricos de E/S y un programa dedicado a una aplicación concreta almacenado permanentemente en la memoria, así como también un interfaz externo para efectuar un monitoreo del estado y hacer un diagnóstico del sistema. (electrónica-embebida, 2011).

El término embebido o empotrado hace referencia al hecho de que el microcomputador está encerrado o instalado dentro de un sistema mayor y su existencia como microcomputador puede no ser aparente.

Los sistemas embebidos se caracterizan normalmente por la necesidad de dispositivos de E/S (entrada/salida) especiales. Cuando se opta por diseñar el sistema embebido partiendo de una placa con microcomputador también es necesario diseñar placas de E/S adicionales para cumplir con los requisitos de la aplicación concreta.

Muchos sistemas embebidos son sistemas de tiempo real. Un sistema de tiempo real debe responder, dentro de un intervalo restringido de tiempo, a eventos externos mediante la ejecución de la tarea asociada con cada evento.

Un uso muy común de los sistemas embebidos es en los sistemas de tiempo real, entendiéndose por sistemas en tiempo real a aquellos sistemas en los que el control del tiempo es vital para el correcto funcionamiento. Los sistemas en tiempo real necesitan realizar ciertas operaciones o cálculos en un límite de tiempo. Donde ese límite de tiempo resulta crucial. Un ejemplo claro de un sistema de tiempo real es el control de tráfico aéreo.

Los sistemas embebidos a pesar de no ser muy nombrados están en muchas partes, en realidad, es difícil encontrar algún dispositivo cuyo funcionamiento no esté basado en algún sistema embebido, desde vehículos hasta teléfonos celulares e incluso en algunos electrodomésticos comunes como refrigeradores y hornos microondas.

(Ganssle, 2008)

2.3.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA EMBEBIDO

Como se indicó anteriormente, en la parte central de un sistema embebido, se encuentra el microprocesador, microcontrolador, DSP, etc. Es decir, la CPU o unidad que aporta capacidad de cómputo al sistema (cerebro del sistema); por otro lado, la comunicación también adquiere gran importancia, lo normal es que el sistema pueda comunicarse mediante interfaces

estándar de cable o inalámbricas. Así un SE normalmente incorporará puertos de comunicaciones del tipo RS-232, RS-485, SPI, I²C, CAN, USB, IP, Wi-Fi, GSM, GPRS, DSRC, etc.

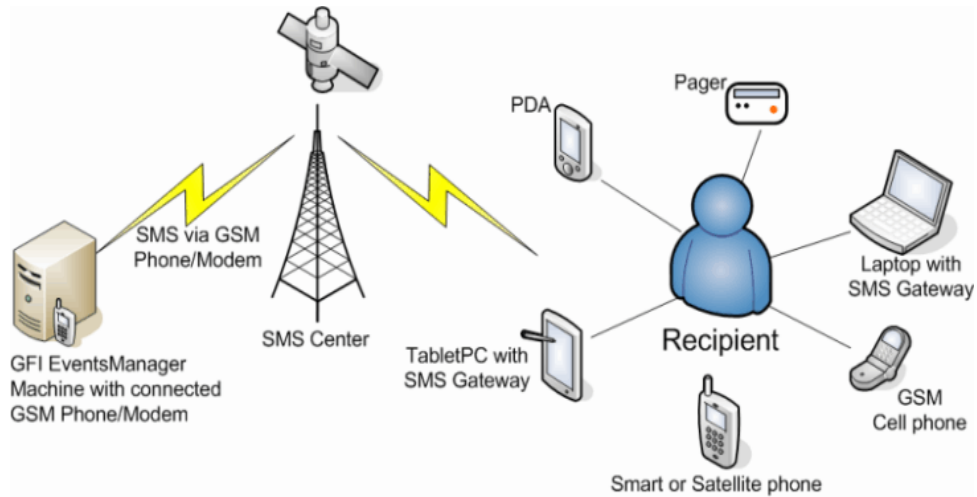


Figura 3. Comunicación GSM
(Microcaos, 2002)

Luego de nombrar los dos elementos principales en la conformación de un sistema embebido, no se puede dejar de lado:

- El subsistema de presentación, que suele ser una pantalla gráfica, táctil, LCD o alfanumérico entre los más empleados.
- Los actuadores, posibles elementos electrónicos que el sistema se encarga de controlar. El más habitual puede ser una salida de señal PWM para control de la velocidad en motores de corriente continua.
- El módulo de E/S analógicas y digitales, que suele emplearse para digitalizar señales analógicas procedentes de sensores, activar diodos LED, entre otros.
- El módulo de reloj que es el encargado de generar las diferentes señales de reloj a partir de un único oscilador principal.

- El tipo de oscilador es importante por varios aspectos, como son la frecuencia y la estabilidad necesaria, así como también por el consumo de corriente requerido.
- El módulo de energía (power), que se encarga de generar los diferentes rangos de voltajes y corrientes necesarias para alimentar los diferentes circuitos del sistema.

(Ganssle, 2008)

2.3.1.1 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado, programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques, los cuales cumplen una tarea específica, como se indica en la figura 4.

Los microcontroladores son diseñados para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular.

Por eso el tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación.

Un microcontrolador se diferencia de una unidad central de procesamiento normal, porque es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con una cantidad menor de circuitos integrados externos de apoyo; la idea es que el circuito integrado se coloque en el dispositivo, unido a la fuente de energía y de información que necesite, y eso es todo.

Un microprocesador tradicional no permitirá realizar este proceso, ya que espera que todas estas tareas sean manejadas por otros chips, se debe agregar módulos de entrada y salida (puertos) y la memoria para almacenamiento de información.

(Sanchis, 2002)

2.3.1.2 Microprocesador

Un microprocesador, conocido como procesador, chip o micro, es un circuito lógico que procesa las operaciones lógicas y aritméticas que hacen funcionar un computador, este circuito, está conformado por millones de componentes electrónicos. Constituye la unidad central de procesamiento (CPU) de un PC catalogado como microcomputador.

Se encarga de ejecutar los programas, desde el sistema operativo hasta las aplicaciones de usuario; sólo ejecuta instrucciones programadas en lenguaje de bajo nivel, realizando operaciones aritméticas y lógicas simples, tales como sumar, restar, multiplicar, dividir, las lógicas binarias y accesos a memoria.

Esta unidad de procesamiento se constituye, fundamentalmente, por registros, una unidad de control, una unidad aritmética lógica (ALU) y una unidad de cálculo en coma flotante.

(Sanchis, 2002)

2.3.1.3 Diferencias entre microprocesador y microcontrolador

Cuando se realiza un diseño con un microprocesador se puede observar que dependiendo del circuito se requiere algunos circuitos integrados adicionales además del microprocesador como por ejemplo: memorias RAM para almacenar los datos temporalmente y memorias ROM para almacenar el programa que se encargaría del proceso del equipo, un circuito integrado

para los puertos de entrada y salida y finalmente un decodificador de direcciones.

Un microcontrolador, por otro lado, es un solo circuito integrado que contiene todos los elementos electrónicos que se utilizaban para hacer funcionar un sistema basado con un microprocesador; es decir contiene en un solo integrado la Unidad de Proceso, la memoria RAM, memoria ROM , puertos de entrada, salidas y otros periféricos, con la respectiva reducción de espacio que esto implica. El microcontrolador es en definitiva un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que controla, sumando a todo esto su precio accesible en el mercado.

(Ganssle, 2008)

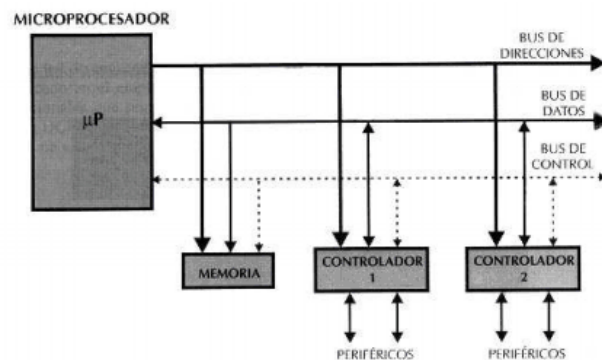


Figura 4. Estructura de un sistema abierto basado en un microprocesador
(Zabala, 2009)

El microcontrolador es un sistema cerrado. Todas las partes del procesador están contenidas en su interior, como se puede observar en la figura 5.

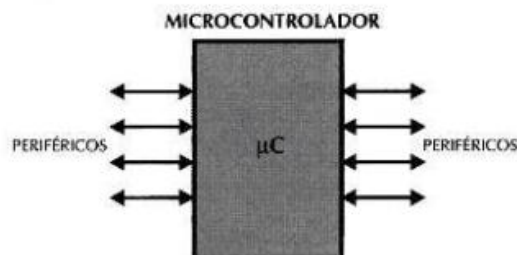


Figura 5. Sistema Cerrado de un Microcontrolador
(Zabala, 2009)

2.3.1.4 Actuadores

Los actuadores tienen como misión generar movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control o microcontrolador. Existen varios tipos de actuadores como son:

- Electrónicos
- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren mucho equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. En la figura 6 se presentan algunos modelos de actuadores neumáticos e hidráulicos.



Figura 6. Actuadores Neumáticos e Hidráulicos
(Transval,S.A, 2008)

Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

2.3.1.4.1 Actuadores Eléctricos

Los actuadores eléctricos se caracterizan por su control, sencillez y precisión, lo que hace fácil su uso, la estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo requieren de energía eléctrica como fuente de poder, como se visualiza en la figura 7. Debido a que se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.

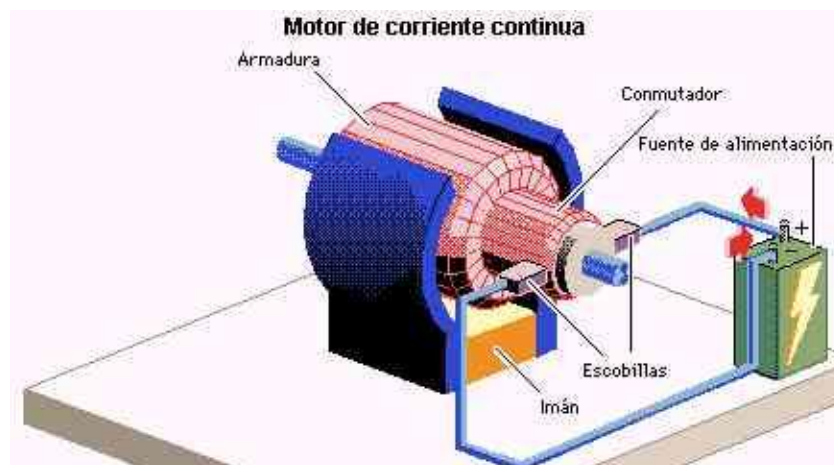


Figura 7. Motor DC
(unocrom, 2004)

En general, los actuadores eléctricos pueden distinguirse en tres tipos diferentes, la diferencia entre los motores AC y DC se observa en la figura 8:

a. Motores de Corriente Continua (DC)

- Precios accesibles para el consumidor medio de la Industria
- Posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.
- Controlado por voltaje de armadura
- Controlado a través de corriente de excitación
- Usado en aplicaciones de potencia

b. Motores de Corriente Alterna (AC)

- Acción mutua de los campos magnéticos
- Síncronos
- Asíncronos

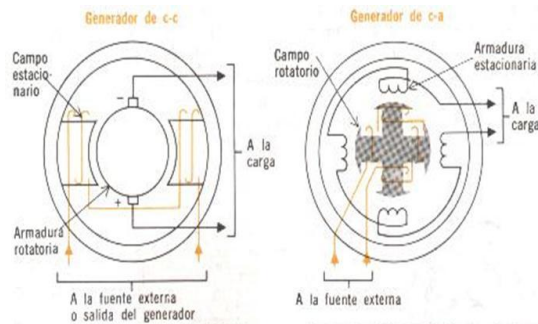


Figura 8. Motor DC vs Motor AC
(unocrom, 2004)

c. Motores Paso a Paso

- Puede ser controlado por impulsos procedentes de sistemas lógicos
- Comportamiento similar a un convertor digital-analógico
- Alta precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento.

d. Reductores

En complemento con los motores, se puede encontrar en ciertas ocasiones los reductores, que son elementos utilizados para aumentar el torque de un motor, pero con la disminución de la velocidad, obteniendo una reducción de rozamiento. En la figura 9, se puede observar un motor con un reductor 100/1.

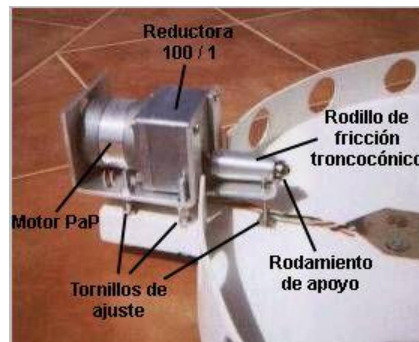


Figura 9. Motor Paso a Paso con Reductor
(Abina, 2003)

2.3.1.5 Servomotores

Un servomotor, puede ser definido como un motor eléctrico que tiene la capacidad de ser controlado, tanto en velocidad como en posición.

Este motor de corriente continua, realiza la función de actuador en el dispositivo, al aplicarse un voltaje entre sus dos terminales, el motor gira en un sentido a alta velocidad, pero produciendo un bajo par. Para aumentar el par del dispositivo, se utiliza una caja reductora, que transforma gran parte de la velocidad de giro en torsión.

Los servomotores utilizan un circuito de control interno, el cual permite ubicar al eje en una posición angular específica, este control es de tipo proporcional; el set point se ingresa mediante una señal cuadrada, como se indica en la figura 10, donde el ancho que dura el pulso es proporcional al ángulo de giro que se desea obtener, la señal PWM que sirve para el control de motor, se convierte en una señal análoga de voltaje que será comparada con la del potenciómetro que es la señal de realimentación que indica el valor actual de posición y mediante esta dos señales, se obtiene la señal de error que se amplifica con una ganancia y posteriormente se aplica a los terminales del motor. (Ferraté, 1988)

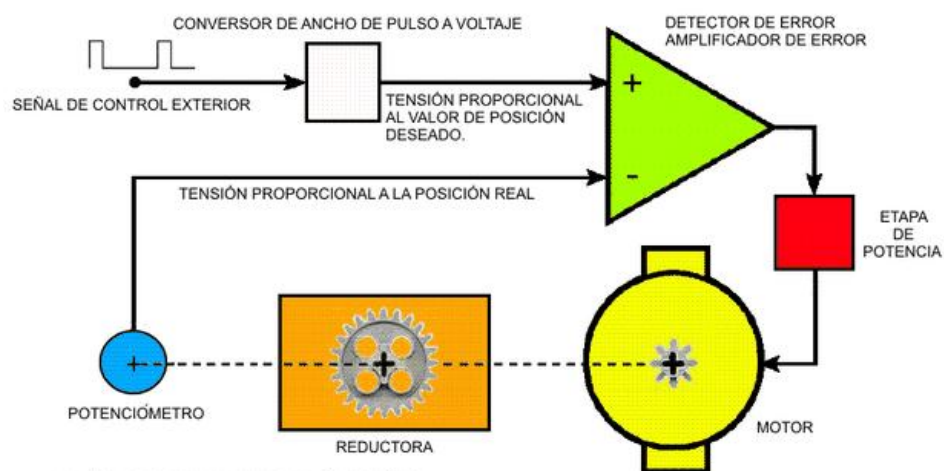


Figura 10. Funcionamiento interno de un servomotor

(Pickey, 2007)

Dependiendo del modelo del servo, la tensión de alimentación puede estar comprendida entre los 4 y 8 voltios. El control de un servo se reduce a indicar su posición mediante una señal cuadrada de voltaje: el ángulo de ubicación del motor depende de la duración del nivel alto de la señal, esto se puede observar en la figura 11.

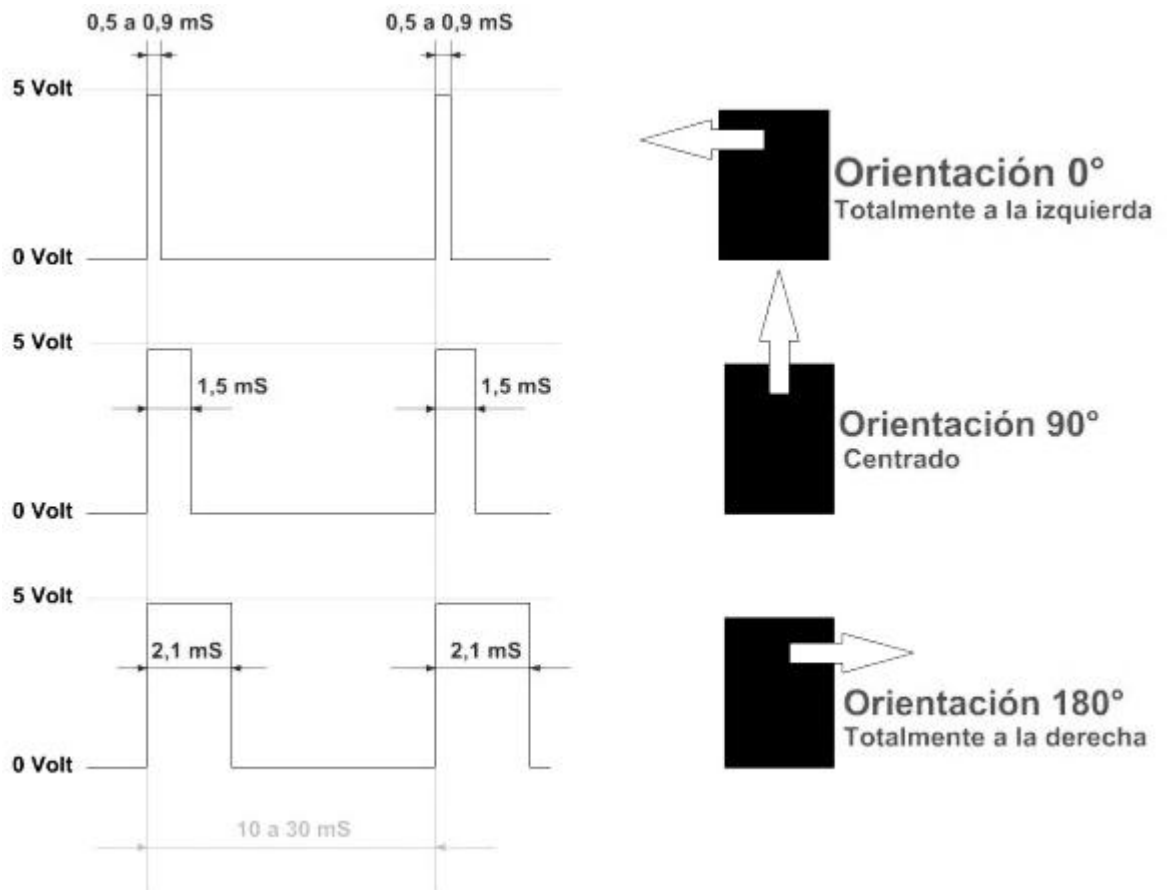


Figura 11. Orientación de un servomotor
(Pickey, 2007)

Cada servo, dependiendo de la marca y modelo utilizado, tiene sus propios márgenes de operación. Por ejemplo, para algunos servos los valores de tiempo de la señal en alto están entre 1 y 2 ms, que posicionan al motor en ambos extremos de giro (0° y 180°, respectivamente). La duración del pulso para conseguir un ángulo de posición θ estará dado por la fórmula:

$$t = 1 + \frac{\theta}{180} \quad (2.1)$$

Donde:

t = tiempo dado en milisegundos

\emptyset = ángulo girado en grados.

(Barrientos, 2007)

Debe tenerse en cuenta que ningún valor ya sea el del ángulo o el de duración de pulso, puede estar fuera del rango de operación del dispositivo, ya que el servo tiene un límite de giro debido a la limitación física que impone el potenciómetro del control de posición. Los servomotores tienen tres terminales de conexión: dos para la alimentación eléctrica del circuito y uno para la entrada de la señal de control, estos terminales pueden ser observados en la figura 12.

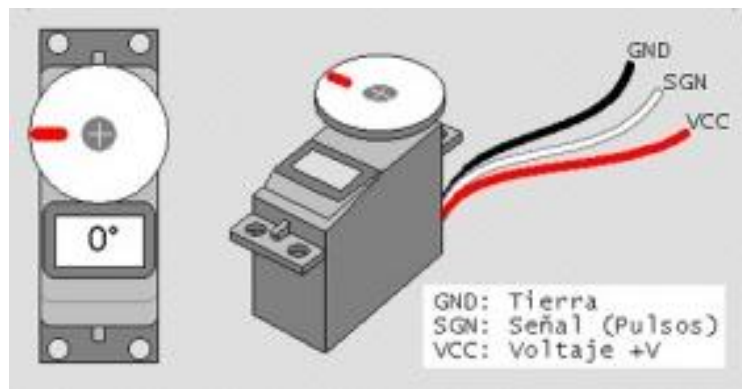


Figura 12. Terminales de Conexión

(Pickey, 2007)

2.3.1.6 Sensores

Los datos de entrada y de realimentación de los sistemas de control se introducen mediante dispositivos, denominados sensores.

El sensor traduce la información que le llega del exterior en un impulso eléctrico, normalmente digital (pasa o no pasa corriente), que puede ser analizado y procesado por la unidad de control del sistema. En la figura 13 se puede observar el esquema de un sistema funcional con 3 sensores.

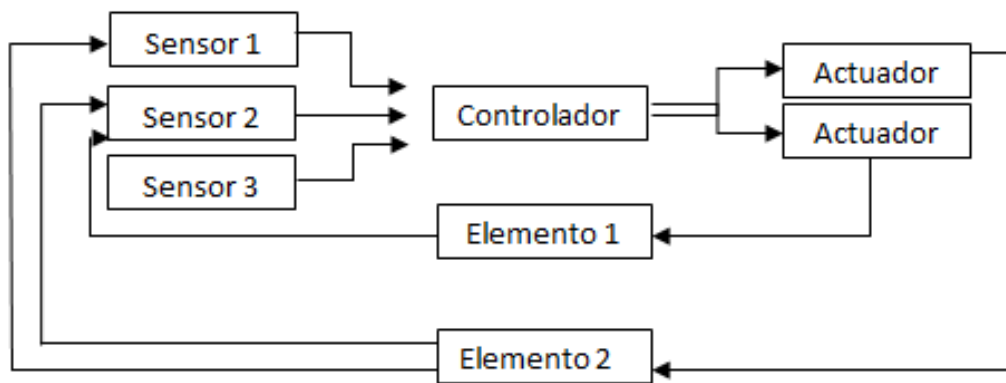


Figura 13. Esquema funcionamiento de sensores

2.3.1.6.1 Tipos de Sensores

Existen diferentes tipos de sensores, en función del tipo de variable que tengan que medir o detectar:

- De contacto.- Se emplean para detectar el final del recorrido o la posición límite de componentes mecánicos.
- Ópticos.- Detectan la presencia de una persona o de un objeto que interrumpen el haz de luz que le llega al sensor.
- Térmicos.- Se trata de resistencias cuyo valor asciende con la temperatura (termistor PTC) o bien disminuye con la temperatura (termistor NTC); por lo tanto, depende de la temperatura que el termistor permita o no el paso de la corriente por el circuito de control del sistema.
- De humedad.- Se basan en que el agua no es un material aislante como el aire sino que tiene una conductividad eléctrica
- Magnéticos.- Detecta los campos magnéticos que provocan los imanes o las corrientes eléctricas.

- De infrarrojos.- Existen diodos capaces de emitir luz infrarroja y transistores sensibles a este tipo de ondas y que por lo tanto detectan las emisiones de los diodos.

(Areny, 2003)

2.4 CÁLCULO DE TORQUE

Conocido también como momento de fuerza o par de torsión a una magnitud vectorial, se obtiene como el producto vectorial del vector de posición del punto de aplicación de la fuerza (con respecto al punto al cual se toma el momento) por el vector fuerza, en ese orden. En otras palabras, el par es un vector que mide la tendencia de una fuerza para girar un objeto alrededor de un eje. Está definido por:

$$T = F \times d \quad (2.2)$$

Donde,

T =esfuerzo de torsión,

F =fuerza,

d =Distancia o Longitud.

Este principio es utilizado para determinar los parámetros necesarios para la elección de motores en el momento de desarrollar un proyecto de aplicación, como se muestra en la figura14.

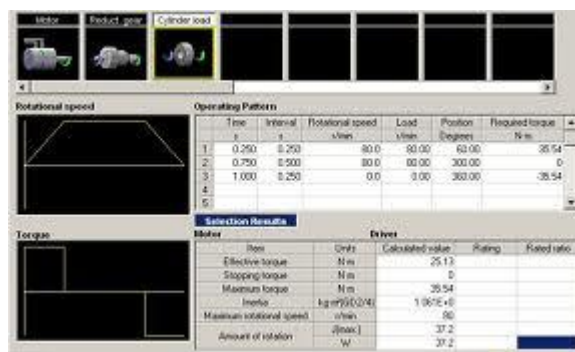


Figura 14. Forma de selección de un motor en base a torque

(Bahram, 2002)

2.5 COMUNICACIÓN DE DATOS

Para tener una mejor definición referente a la comunicación de datos es necesario recordar algunos términos en general que intervienen en este proceso.

- Datos: son elementos de información, símbolos que representan hechos, valores o situaciones.
- Protocolo TCP/IP: Es el conjunto de normas y procedimientos para la sincronización y el formato de los datos en Internet.
- Red: es un arreglo o configuración de nodos, conectados mediante canales de comunicación.

Se puede definir a la comunicación de datos como la transferencia de datos de un nodo a otro, a través de canales de comunicación. La comunicación de datos se basa en los dispositivos de entrada/salida del ordenador. Para manejar la comunicación de datos se requiere un software especializado. (Tomasi, 2003)

Los elementos que intervienen en la comunicación de datos:

- Emisor (dispositivo que envía la señal)
- Receptor (dispositivo que recibe la señal)
- Medios o canales de comunicación
- Protocolos de comunicación
- Mensaje
- Dispositivos de comunicación
- Operador

2.5.1 MEDIOS O CANALES DE COMUNICACIÓN

Un canal puede ser un medio físico (cable) o un medio inalámbrico (frecuencia de radio específica), estos medios transportan los datos, de un dispositivo emisor a otro receptor.

La selección de un canal depende de factores como:

- Condiciones de instalación.
- Volumen de bits transportados por unidad de tiempo.
- Distancia que pueden recorrer los datos sin sufrir atenuación.
- Costos.

Entre los medios físicos se puede encontrar, el cable de cobre trenzado, el cable, cable coaxial, fibra óptica, y entre los dispositivos inalámbricos se puede citar transmisión vía microondas y vía infrarrojos.

2.5.1.1 Dispositivos De Comunicación

Son equipos electrónicos creados con la finalidad de posibilitar, facilitar o mejorar la conexión a redes informáticas.

Hacen uso de diversas tecnologías y se incorporan a las redes informáticas con diferentes objetivos.

Algunos de ellos son:

- MODEM
- HUB
- Switch
- Router
- Bridge
- Gateway

2.5.2 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

La comunicación inalámbrica o comunicación Wireless es un tipo de comunicación en el que la conexión de nodos se produce sin necesidad de una conexión física (cables), ésta se da por medio de ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción se realizan a través de puertos, y utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio; en este sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal, entre los cuales se encuentra: antenas, computadoras portátiles, PDA, teléfonos móviles, etc.

Una de sus principales ventajas es notable en los costos, ya que se elimina todo el cable ethernet y conexiones físicas entre nodos, pero también tiene una desventaja considerable ya que para este tipo de red se debe tener una seguridad mucho más exigente y robusta para evitar a los intrusos.

2.5.2.1 WiFi

Cuando se habla de WIFI se hace referencia a una de las tecnologías de comunicación inalámbrica mediante ondas más utilizada en la actualidad. WIFI, también llamada WLAN (wireless, LAN, red inalámbrica) o estándar IEEE 802.11. WIFI, no es una abreviatura de Wireless Fidelity, simplemente es un nombre comercial.

En la actualidad se puede encontrar con dos tipos de comunicación WIFI:

- 802.11b, que emite a 11 MB/seg, y
- 802.11g, más rápida, a 54 MB/seg.

Este mecanismo permite la conexión a Internet de varios dispositivos electrónicos habilitados, (como se muestra en la figura 15) tales como: un computador personal, una consola de videojuegos, un Smartphone o un reproductor de audio digital, a través de un punto de acceso de red

inalámbrica. Dicho punto de acceso (mejor conocido como hotspot) tiene un alcance de unos 20 metros en interiores y al aire libre una distancia mayor.



Figura 15. Comunicación WiFi
(Tecnología por 1000, 2009)

2.6 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Se define un lenguaje de programación como: “Un lenguaje artificial que se utiliza para expresar programas de un ordenador” (Rodríguez, 2003)

Cada ordenador según su diseño “entiende un cierto conjunto de instrucciones elementales (lenguaje de máquina); no obstante, para facilitar la tarea del programador, se dispone también de lenguajes de alto nivel más fáciles de manejar y que no dependen del diseño específico de cada ordenador.

Los programas escritos en un lenguaje de alto nivel no podrán ser ejecutados por un ordenador mientras no sean traducidos al lenguaje propio de éste. (Rodríguez, 2003)

Para definir un lenguaje de programación es necesario especificar:

- Conjunto de símbolos y palabras claves utilizables.

- Reglas gramaticales para construir sentencias, instrucciones u órdenes, sintáctica y semánticamente correctas.

Entendiéndose por sintaxis al conjunto de normas que determinan como escribir las sentencias del lenguaje; y por semántica a la interpretación de las sentencias, es decir indica el significado de las mismas.

2.6.1 LENGUAJES DE ALTO NIVEL

Los lenguajes de alto nivel conocidos también como lenguajes evolucionados, tienen como objetivo principal lograr independencia de la máquina, a tal punto que un mismo programa se pueda utilizar en diferentes ordenadores. Para obtener el programa ejecutable en lenguaje binario de la máquina cuentan con la operación de un programa traductor, mejor conocido como intérprete o compilador. (Alonso, García, Onaindía, 1998)

Gracias a sus características los lenguajes de alto nivel se encuentran más próximos al usuario o programador, ya que utiliza palabras en inglés y no cadenas de bits por lo que tanto la escritura como posterior lectura o revisión del programa resulta mucho más clara, eliminando en gran medida las posibilidades de cometer errores. Como ejemplo de lenguajes de alto nivel se puede citar los siguientes: BASIC, COBOL, Pascal, C, entre otros.

2.6.1.1 Características de los Lenguajes de alto nivel

Entre las características principales de los Lenguajes de alto nivel se pueden citar:

- Poseen una estructura semejante a los lenguajes naturales.
- Son independientes de la arquitectura del ordenador utilizado como soporte.

- Mayor facilidad en el desarrollo y depuración de los programas frente a los desarrollados con lenguaje de bajo nivel.
- Conjunto de instrucciones amplio, potente y fácilmente utilizable.
- Independiente de la máquina
- Programas legibles y fáciles de entender
- Mantenimiento y corrección de errores más sencilla.

2.6.2 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN VISUAL

Muchos lenguajes de programación pueden usarse en un ambiente visual o gráfico. A menudo referidos como lenguajes de programación visual, estos lenguajes emplean un ratón, íconos o símbolos en la pantalla y menús desplegables.

Este ambiente visual puede hacer más intuitiva y fácil la programación. Visual Basic, PC, COBOL y Visual C++ son ejemplos de lenguajes de programación visual.

A pesar de los nombres similares, los lenguajes de programación que emplean un ambiente visual o gráfico por lo general son muy diferentes de los lenguajes cuyo desarrollo se pensó para un ambiente basado estrictamente en caracteres y textos. (Stair, Reynolds, 2000)

3. METODOLOGÍA (DISEÑO EXPERIMENTAL)

Para el desarrollo del presente proyecto, se considera una serie de etapas que si bien es cierto no son obligatorias, permitirán tener un enfoque real del proyecto:

- La necesidad.- Todo proceso se inicia con una necesidad determinada.
- Análisis de problema.- Se trata de una etapa muy importante, ya que no definirla verdadera naturaleza del problema, de manera precisa podría conducir a una pérdida de tiempo en diseños que no satisfacen la necesidad.
- Elaboración de una especificación.- luego del análisis, se procede a especificar lo que se requiere, se debe dejar claro en qué consiste el problema; las restricciones que debe satisfacer la solución y los criterios que se aplicaran para evaluar la calidad del diseño.
- Propuesta de posibles soluciones.- En esta etapa, se elaboran bosquejos de soluciones con el suficiente detalle para indicar como obtener cada una de las funciones requeridas.
- Selección de una solución idónea. Se evalúan las opciones propuestas y se elige la más adecuada.
- Elaboración de diseño detallado.- Se desarrolla el diseño más adecuado con todos sus detalles, lo cual podría requerir la creación de prototipos o modelos para simular los detalles óptimos de diseño.

Las anteriores etapas del diseño no necesariamente se van dando de acuerdo con la secuencia mencionada. En ocasiones será necesario regresar a una etapa anterior y reconsiderarla. (Bolton, 2006)

3.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA

Dentro del ambiente de diseño de productos o procesos, es común distinguir métodos o técnicas para resolver problemas específicos en Ingeniería, especialmente cuando se trata de sistemas en donde incide más una disciplina que otra; la metodología Mecatrónica, consistió en integrar técnicas de diseño mecánico considerando la interacción de dichos sistemas con los componentes electrónicos, y los de control. Estas técnicas integradas pueden ser observadas en la figura 16.

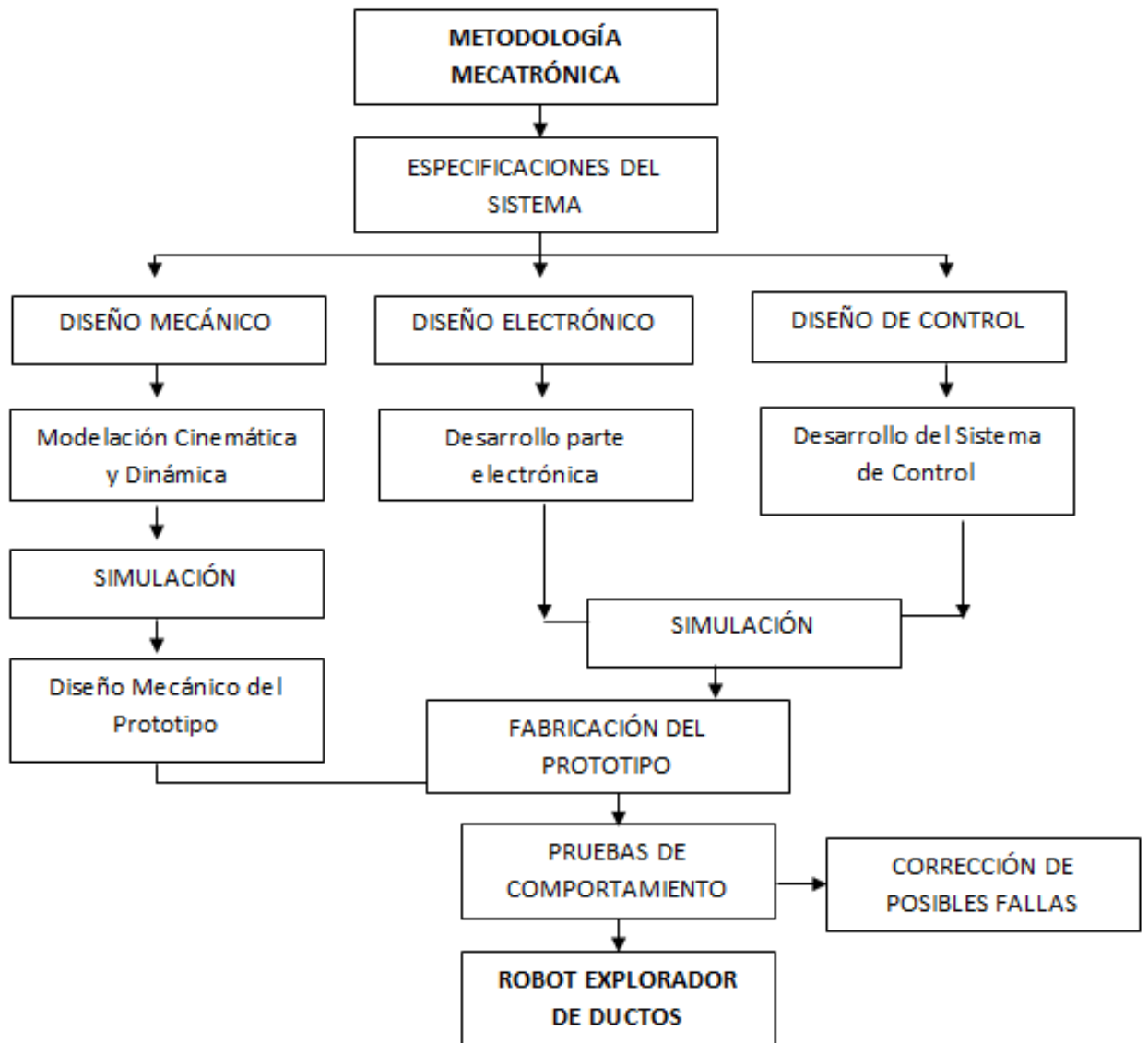


Figura 16. Proceso Metodología Mecatrónica (Bolton, 2006)

El propósito de tener una metodología que permita desarrollar proyectos de tipo mecatrónico, es decir proyectos en donde los sistemas mecánicos, electrónicos y computacionales se combinan de forma significativa en el diseño de la máquina, es que dicha metodología ayudará a reducir los tiempos de diseño e implantación, los costos asociados al diseño y construcción; tener un orden de actividades en un proyecto integral, y además visualizar la dirección del proyecto como tal.

En resumen, la metodología mecatrónica aplicada al desarrollo del presente proyecto, facilitó la obtención del diseño final del robot explorador, luego de realizar un estudio del sistema para lo cual se diseñó un modelo virtual del robot, donde se observó su comportamiento y desarrollo frente a diversas condiciones.

El proceso ideal de diseño consistió en justificar la presencia de los elementos en sus diversos ámbitos, dimensiones, esfuerzos, funcionalidad entre otros.

3.1.1 DISEÑO MECÁNICO

Para la etapa del diseño mecánico previamente se realiza un estudio del entorno de trabajo del explorador, para identificar los factores a los que estará sometido, y posteriormente se calculan y analizan las dimensiones del robot, de igual manera, una vez claros todos estos determinantes con la ayuda de métodos geométricos se determinó la cinemática del robot que fue evaluada en software de tipo CAD (diseño asistido por computadora), al realizarse un modelo virtual del explorador, el mismo que permitió corregir fallas e identificar soluciones para un óptimo desempeño. Los pasos que conforman el proceso del diseño mecánico pueden ser observados en la figura 17.

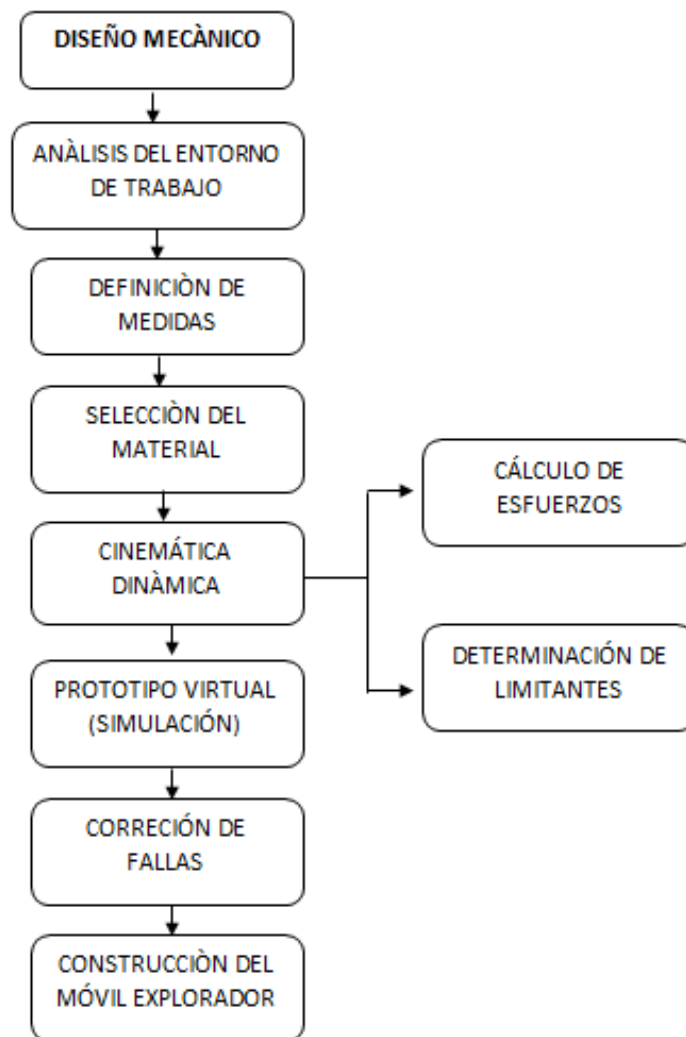


Figura 17. Proceso de Diseño Mecánico (Bolton, 2006)

3.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO MECÁNICO

Para la elaboración del diseño final del robot se debieron tomar las siguientes consideraciones:

- a. **Diámetro de las tuberías de los ductos**, la investigación realizada permitió conocer que existen diferentes dimensiones en los diámetros que conforman las tuberías del sistema de alcantarillado, teniendo como diámetro mínimo 0.30 m y como máximo 2m, esto se tuvo en consideración para determinar las dimensiones del robot.

- b. Radio de curva de los ductos**, existen diferentes radios de curvatura en los ductos del sistema, teniendo como característica principal un gran radio de curvatura. Teniendo en cuenta esto se planteó diseñar el robot con la intención de que este pueda ser capaz de realizar giros en curvas de distintos radios de curvatura.
- c. Superficie de las tuberías**, debido a la característica agreste de nuestra ciudad, existen diferentes tipos de superficie, ya sean planas o pendientes con una elevada inclinación. En esta etapa de la ejecución del proyecto se partió sobre la premisa de que el móvil se desplaza sobre una superficie plana.
- d. Peso**, el peso que cada parte del robot posee, será en función de la actividad que desarrolle dicha parte dentro del funcionamiento del móvil.
- e. Fuerza**, este factor está determinado por los motores, y servomotores que serán empleados en su construcción, la elección de estos se realizará en base al cálculo de torques.

3.2 SISTEMA DE LOCOMOCIÓN

La elección del tipo de configuración del sistema motriz, es uno de los pasos necesarios para la construcción del móvil. La configuración hace referencia a la disposición de los principales elementos que componen el móvil (placas, bases, soportes, etc.).

Existen diferentes configuraciones de locomoción para robots móviles, como son:

- Sistema diferencial
- Triciclo
- Ackerman
- Sincronizada

- Omnidireccional
- Con múltiples grados de libertad
- Movimiento mediante orugas. (Baturone, 2001)

Para el desarrollo del presente proyecto se empleará el sistema diferencial con tracción delantera, que es mostrado en la figura 18, ya que es un sistema barato, fácil de implementar y con un diseño simple frente a los demás sistemas existentes; en este sistema de locomoción, se sitúa un motor conectado a cada una de las ruedas tractoras, de forma que variando la velocidad de cada uno de los motores se consigue que el vehículo vaya recto (cuando ambas ruedas giran a la misma velocidad), o girando más o menos rápido (cuando cada rueda gira a velocidades distintas), en conclusión el giro del robot queda determinado por la diferencia de velocidad de las ruedas.

Una de las grandes ventajas de esta cinemática es que el robot puede girar sobre sí mismo, haciendo que las ruedas vayan a la misma velocidad pero en sentido contrario.

Para mantener el equilibrio del robot, (ya que el sistema consta de dos ruedas), se agregará una tercera rueda de libre giro “rueda loca”; esta rueda sirve para mantener horizontal al robot, por lo que gira libremente según el movimiento, además, se orienta fácilmente hacia la dirección del robot.

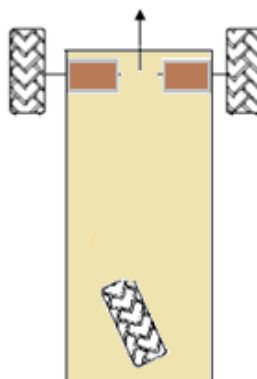


Figura 18. Sistema Diferencial Tracción Delantera Con Rueda Loca

3.3 MATERIALES

3.3.1 BASES DE LA ESTRUCTURA

Para la elaboración de la placa que sostiene la parte electrónica y donde se sujeta el sistema locomotor se utilizará acrílico al considerar como óptimas sus características y propiedades que no se hallan en otros materiales, iniciando en el hecho de que es el mejor, entre todos los plásticos, por:

- Su resistencia y tolerancia a la intemperie, teniendo una larga vida útil.
- Excelentes cualidades para el mecanizado y el termodoblado
- Utilizado en diferentes aplicaciones donde resulta necesario que el material permanezca inalterable por un largo período de tiempo.
- Es un material muy versátil ya que permite ser mecanizado con suma facilidad con herramientas de corte y grabado sencillas,
- Facilita el llevar a cabo las ideas de diseño.
- Posee poco peso,
- Presenta resistencia a la corrosión
- Calidad de aislante eléctrico, sin contar con que es agradable al tacto.
- Posee una alta resistencia.

Además de estas características y las propiedades del material mostradas en la tabla 1, se ha seleccionado este material por el siguiente análisis mecánico:

$$\tau c = \frac{Fr}{A} = \frac{m * a}{b * h} \quad (3.3)$$

Donde:

τc = Esfuerzo

Fr= Fuerza Resultante

A = Área

m = masa (en gramos)

b = Base (en metros)

h = Altura (en metros)

a = aceleración (para este cálculo será igual al valor de la gravedad 9.8m/s^2)

Para obtener la Fr se debe conocer todos los pesos de los componentes que serán soportados por la placa base y reemplazarlos en la siguiente fórmula:

$$Fr = F1 + F2 + F3 + F4 + F5 \quad (3.4)$$

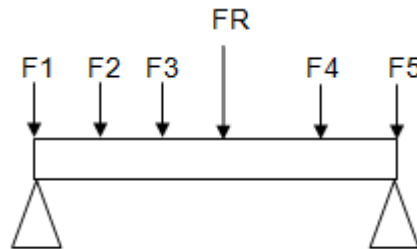


Figura 19. Distribución de cargas

$$Fr = F1 + F2 + F3 + F4 + F5$$

$$Fr = m1g + m2g + m3g + m4g + m5g$$

$$Fr = 0.045(9.8) + 0.07(9.8) + 0.085(9.8) + 0.045(9.8) + 0.025(9.8)$$

$$Fr = 2.646N$$

Una vez obtenido el valor de la Fuerza Resultante, se procede con el cálculo del área de la placa, así:

$$AT = A1 + A2 + A3 \quad (3.5)$$



Figura 20. Placa Base

$$A1 = \frac{(B+b)*h}{2} \quad (3.6)$$

$$A1 = \frac{(0.1 + 0.08) * 0.01}{2}$$

$$A1 = 0.0009 \text{ m}^2$$

$$A2 = b * h \quad (3.7)$$

$$A2 = 0.128 * 0.1$$

$$A2 = 0.0128 \text{ m}^2$$

Al reemplazar estos valores en la ecuación (3.5) se obtiene:

$$AT = A1 + A2 + A3$$

$$AT = 0.0009 + 0.0128 + 0.0009$$

$$AT = 0.0146 \text{ m}^2$$

Reemplazando con los valores requeridos en la fórmula (3.3) se obtiene:

$$\tau_c = \frac{Fr}{A} = \frac{Fr}{b*h} = \frac{2.646N}{0.0146 \text{ m}^2}$$

$$\tau_c = 181.23 \text{ Pa} = 1.81 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

$$\tau > \tau_c$$

$$55 \text{ MPa} > 1.81 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

Ya que el esfuerzo calculado para la base es de 1.81×10^{-3} MPa y los límites de resistencia para carga aplicada en forma constante del acrílico no deben exceder de los 55MPa, se concluye que el acrílico es un material idóneo para el desarrollo de la base.

Tabla 1. Propiedades del Acrílico (Groover, 1997)

Símbolo	PMMA
Método de Polimerización	Adición
Grado de Cristalinidad	Ninguno (amorfo)
Módulo de Elasticidad	400 000lb/pulg ² (2800MPa)
Elongación	5%
Gravedad Específica	1,2
Temperatura de fusión	392° F (200 °C)
Participación aproximada en el mercado	Cerca del 1%

3.3.2 BASES DE LOS MOTORES

Para estas piezas se seleccionó el aluminio, por sus propiedades específicas, que lo diferencian de otros materiales como se puede observar en la figura 19, y lo convierten en un metal tan provechoso, así:

- Ligereza (sobre un tercio del peso del cobre y el acero)
- Resistencia a la corrosión en sectores húmedos
- No es magnético ni tóxico
- Impermeable e inodoro
- Muy dúctil,



Figura 21. Deformación Unitaria del Aluminio vs Bronce y Acero (Groover, 1997)

Estas características en conjunto, con las propiedades del aluminio presentadas en la tabla 2, contribuirán en el desarrollo idóneo del móvil.

Tabla 2. Propiedades del Aluminio (Groover, 1997)

Símbolo	Al
Número Atómico	13
Gravedad Específica	2,7
Estructura Cristalina	FCC
Temperatura de Fusión	1220° F (660°C)
Módulo de Elasticidad	10x10 ⁶ lb/pulg ² (69x10 ³ MPa)
Mineral Principal	Bauxita (mezcla impura de Al ₂ O ₃ y Al(OH) ₃)
Elementos de aleación	Cu, Mn, Mg, Si, Zn
Aplicaciones Típicas	Recipientes, conductores eléctricos, construcción aeroespacial, automotores y otras aplicaciones en las que el peso ligero es importante.

Adicional a estas propiedades se realiza el respectivo cálculo de esfuerzos de donde se puede concluir si el material es apto o no para la carga que deberá soportar.

Se inicia con el cálculo del área de la pieza que será el soporte y el valor de la carga que deberá soportar como se indica en las siguientes ecuaciones.

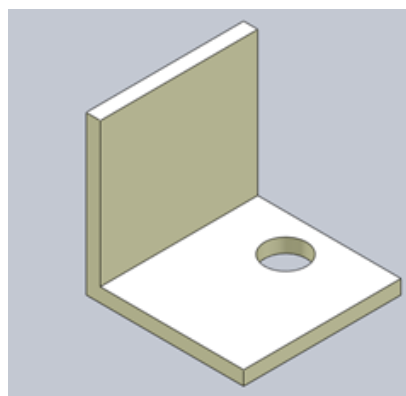


Figura 22. Base motor

$$AT = A1 + A2$$

$$AT = l^2 + l^2$$

$$AT = 0.03^2 + 0.03^2$$

$$A = 0.0018m^2$$

$$F = mg$$

$$F = 0.45(9.8)$$

$$F = 4.41N$$

Una vez obtenida el área y el valor de la carga se reemplaza los valores obtenidos en la ecuación (3.3), así:

$$\tau_c = \frac{F}{A} = \frac{4.41N}{0.0018m^2}$$

$$\tau_c = 2450Pa = 2.45 \times 10^{-3} MPa$$

$$100MPa > 2.45 \times 10^{-3} MPa$$

$$\tau > \tau_c$$

Ya que el esfuerzo admisible del aluminio es 100MPa y el esfuerzo calculado es igual a 2.45×10^{-3} MPa, se concluye que el material es funcional para el desarrollo de los soportes.

3.4 DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico tiene como objetivo la obtención de un circuito funcionalmente correcto, lo más sencillo y eficiente posible y en el menor plazo de tiempo.

Por ello, la metodología de diseño debe garantizar que se minimicen los errores, y que, en caso de que se produzcan, éstos se detecten en la fase más temprana posible. Para esto, en la fase de diseño se introducen puntos de verificación en distintas etapas y caminos de vuelta atrás, antes de

comenzar el montaje del circuito. La herramienta fundamental para la verificación del comportamiento de la parte electrónica es la simulación.

No se puede considerar que el circuito esté correctamente diseñado hasta que la simulación dé como resultado el comportamiento deseado. Una vez que los resultados de simulación indican que el circuito funciona correctamente se pasa a la etapa de montaje, y tras la realización del montaje hay que proceder a la verificación del funcionamiento.

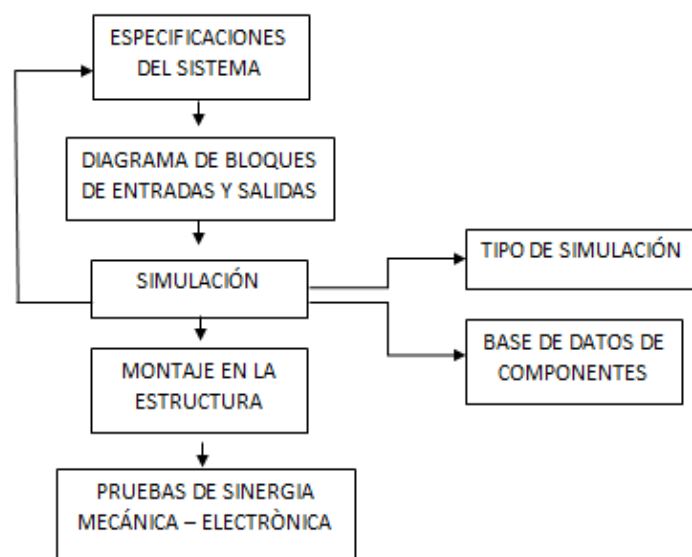


Figura 23. Proceso de Diseño Electrónico (Bolton, 2006)

3.5 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE ENTRADA - SALIDA

3.5.1 DISPOSITIVOS DE ENTRADA

Dentro del área de computación básica, se definen los dispositivos de entrada para un computador, siendo estos aquellos que se ubican en la parte externa del mismo ayudando al óptimo funcionamiento del ordenador.

De la misma manera un sistema embebido está dotado de dispositivos de entrada o periféricos, cuya función es receptar la información necesaria del

entorno de trabajo para transmitirla al procesador donde posteriormente es procesada. Dentro de los dispositivos de entrada se utilizó:

a. Webcam

Puesto que la principal función de este dispositivo, será ser los ojos del operador, se seleccionó una webcam estándar, que puede ser observada en la figura 21, cuya función será captar imágenes, codificarlas y enviarlas a través de la red de comunicación para video que capta, lo codifica especialmente para enviarlo por Internet (red mundial de redes) en tiempo real, con una resolución máxima de 1024 x 768.



Figura 24. Webcam

b. Sensores de Proximidad

Un sensor de proximidad es conocido también como sensor de obstáculos, y su función es enviar información de posibles obstrucciones en la vía al procesador para la respectiva toma de decisiones (esquivar, retroceder); para el móvil explorador se seleccionó un módulo de alcance ultrasónico US 100, representado en la figura 22, por la utilidad de sus características, que son indicadas en la tabla 3.

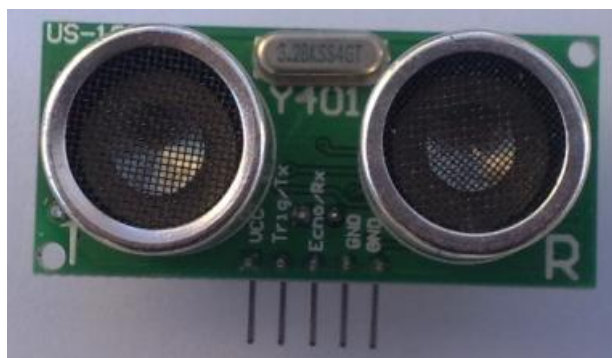


Figura 25. Sensor de Proximidad US 100

El módulo ultrasónico US100 es una solución de bajo costo para aplicaciones de electrónica que requieren medidas de distancia.

Tabla 3. Funcionamiento US 100

PARÁMETROS	US 100
Tecnología	Sonar ultrasonido 40kHz
Voltaje de Funcionamiento	2.4 a 5.5 V DC
Corriente	2mA
Temperatura de Funcionamiento	-20° a +70° C
Salida	Nivel o UART (Puente de selección)
Ángulo de Inducción	Menos de 15 grados
Distancia de Detección	2 cm a 450cm
Exactitud de la Detección	0.3cm+1%
Tamaño del PCB	20 x 45 mm
Alcance	2cm-350cm(temperatura compensada)
UART (puerto serial de configuración)	9600 baudios, 1 bit de inicio, 1 bit de parada, 8 bits de datos, sin paridad, sin control de flujo.
Entrada de disparador	TTL
Salida de Eco	TTL

La distancia del explorador dotado del módulo US-100 al objeto se podrá calcular a través de:

$$D = \frac{Ap * Vs}{2} \quad (3.8)$$

Donde:

D= Distancia

Ap = Ancho de pulso

Vs= velocidad del sonido

Esta fórmula variará de acuerdo a las condiciones en las que se desenvuelva el explorador y será a analizada a profundidad más adelante.

3.5.2 DISPOSITIVOS DE SALIDA

Una vez procesada la información captada por los dispositivos de entrada esta es enviada a través de pulsos a los dispositivos de salida que son los encargados de ejecutar las funciones que el procesador ordena de acuerdo a la programación establecida.

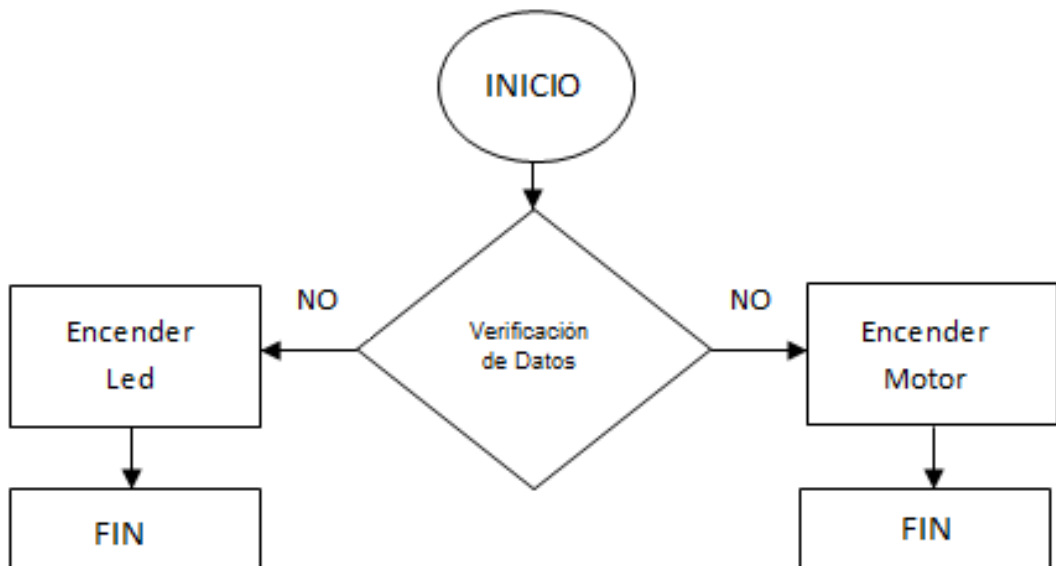


Figura 26. Diagrama de Flujo para funcionamiento de dispositivo de salida

a. Servomotores

Se optó por emplear servomotores, ya que estos se caracterizan por su capacidad para posicionarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo de operación. Para ello, el servomotor espera un tren de pulsos que indica la posición a la cual debe llegar, es decir un servomotor permitirá realizar los movimientos requeridos de forma controlada y sencilla.

Se emplearan dos servomotores de 9 g, estos fueron seleccionados de acuerdo al cálculo de torques como se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Selección de Servomotor

DATOS TEÓRICOS
$m = 9 \times 10^{-3} \text{ Kg}$
$d = 0.025 \text{ m}$ (medido desde el eje del servomotor hasta el centro de gravedad del cuerpo)
$T = Fxd$
$T = mxgxd$
$T = 9 \times 10^{-3} \text{ Kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.025 \text{ m}$
$T = 2.205 \times 10^{-3} \text{ Nm}$
Torque resultante del servomotor de 9g con una distancia de 0.025m



Figura 27. Servomotor de 9g

Se determina que el servomotor de 9g, mostrado en la figura 24, es óptimo para el desarrollo del proyecto puesto que el torque necesario es menor al torque máximo que desarrolla el servo.

b. Motores DC

Estos motores intervienen en el sistema de locomoción del móvil, fueron seleccionados debido a su principal ventaja: los motores de corriente continua permiten ajustar su velocidad simplemente mediante el aumento de la tensión, como se observa en la figura 25, mientras que los motores de corriente alterna tienen un diseño más simple, pero funcionan a velocidades fijas y no pueden operar a bajas velocidades, por tanto, debido a su velocidad variable, los motores de corriente continua se pueden utilizar tanto para aplicaciones de baja potencia y de alta potencia.

A esto se suma su gran variedad de stock en el mercado así como también sus precios accesibles.

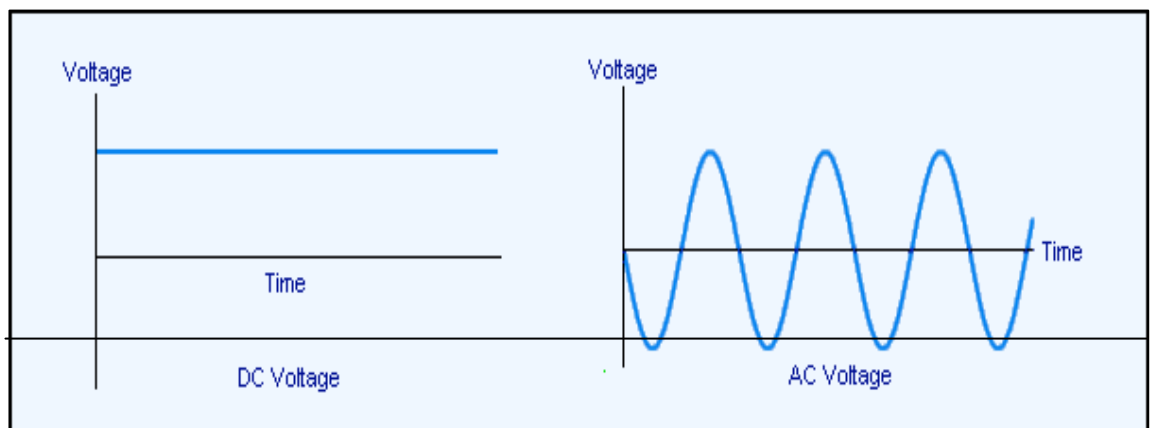


Figura 28. Diferencia de voltaje entre un motor DC y motor AC

El uso de la tabla 5 permite escoger el motor apto para el desarrollo de diversos proyectos, de acuerdo al voltaje y a la corriente que sean necesarias, para el caso del explorador se requiere un motor que trabaje dentro de las condiciones del sistema señaladas en la tabla 11 de este capítulo.

Tabla 5. Selección de Motores según rango de voltaje y corriente
(Bahram, 2002)

N° MOTOR		VOLTAJE DE CONTROL	VOLTAJE DE CONTACTO	CORRIENTE
143058CP	SPST	4 – 32VDC	240VAC	3 A
139053CP	SPST	3- 32VDC	240VAC	25 A
162341CP	SPST	3- 32VDC	240VAC	10 A
172591CP	SPST	3- 32VDC	60VDC	2 A
175222CP	SPST	3- 32VDC	60VDC	4 A
176647CP	SPST	3- 32VDC	120VDC	5 A

3.5.3 DISPOSITIVOS DE POTENCIA

Son dispositivos electrónicos empleados en la denominada “electrónica de potencia”, que permiten transformar y controlar voltajes y corrientes de niveles significativos.

De esta manera, estos dispositivos permiten adaptar y transformar la energía eléctrica para distintos fines tales como alimentar controladamente otros equipos, transformar la energía eléctrica de continua a alterna o viceversa, y controlar la velocidad y el funcionamiento de máquinas eléctricas, así como también controlar parámetros tales como la posición, velocidad o par suministrado por un motor. (Muhammad, 2004)

a. Puente H

Como es sabido un puente H es un dispositivo electrónico que permite el control del sentido de giro de un motor DC (avance – retroceso), son ampliamente utilizados en la robótica y como convertidores de potencia. Pueden ser contruidos a partir de componentes discretos, pero ya que

están disponibles en circuitos integrados, para el desarrollo del presente se empleará un L293D, como el mostrado en la figura 26.



Figura 29. Integrado L293D
(Datasheet ST L293D)

Este circuito integrado es uno de los más conocidos puentes H de estado sólido en el mercado, permite controlar dos motores y puede entregar hasta 1A por canal, es muy útil y fácil de controlar y es compatible con cualquier Microcontrolador incluyendo placas de desarrollo Arduino.

Tiene la capacidad de controlar corriente hasta 600 mA en cada circuito, y una tensión entre 4,5 y 36 V. Su sistema de conexión es sencillo y puede ser observado en la figura 27.

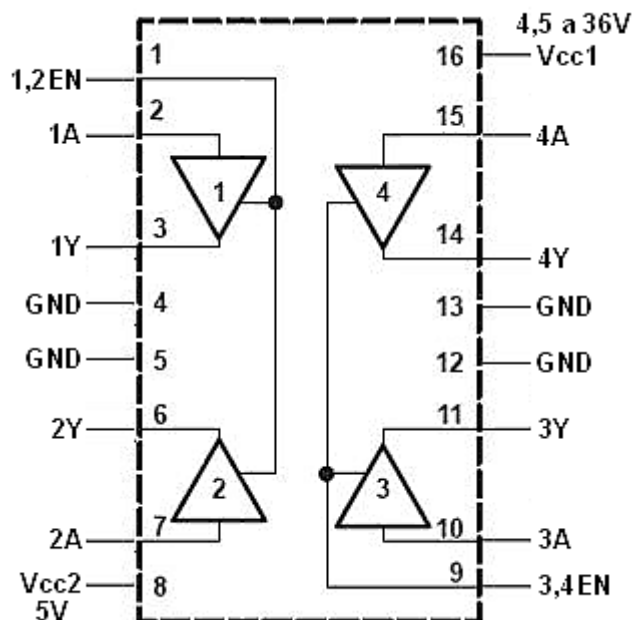


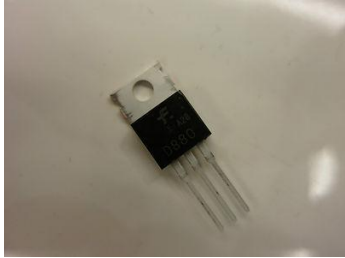
Figura 30. Diagrama de Pines L293D
(Datasheet ST L293D)

b. Amplificador Operacional

Para la elaboración del amplificador se ha optado por un transistor D880 ya que su uso permitirá ganar un ancho de banda de 3MHz, lo que dará como resultado un mayor alcance en cuanto a comunicación, adicional a esto su uso es sencillo, alta fiabilidad a bajo costo y es funcional con los demás dispositivos seleccionados.

El transistor de energía D880Y, está diseñado para su uso en módulos amplificadores de frecuencia, y posee las siguientes características, mostradas en la tabla 6:

Tabla 6. Características transistor D880Y (Datasheet ST D880Y)

Colector- base de voltaje	60v	
Colector- emisor de voltaje	60v	
Emisor- base de voltaje	7v	
Colector de corriente	3A	
Total de disipación	30W	

3.5.4 DISPOSITIVOS DE COMUNICACIÓN



Figura 31. Comunicación Inalámbrica

En todo sistema básico de comunicación se requiere de dos elementos principales: el transmisor (Tx) y el receptor (Rx), en el caso del presente

proyecto se deberá tener en cuenta que la comunicación será vía wireless, por tanto se tendrá como dispositivo principal de la comunicación un módulo WiFi, que permitirá la comunicación en tiempo real, el sistema de comunicación es representado en la figura 28.

a. Transmisor

Como transmisor de la comunicación inalámbrica se seleccionó un dispositivo WiFi que en combinación con el amplificador de frecuencia implementado en la tarjeta de control, formado a base de un transistor D880Y (selección de dispositivos de potencia), permitirá tener una transmisión a 2.4 GHz, facilitando la recepción de la imagen, del entorno del móvil explorador, en el equipo receptor (computador).

El módulo WiFi seleccionado es el Fast FWR171-3G, mostrado en la figura 29, ya que representa una solución inalámbrica portátil y conveniente para el desarrollo del proyecto, entregando conectividad inalámbrica 802.11n con una tasa máxima de la señal inalámbrica de hasta 150Mbps en óptimas condiciones.

Este dispositivo trabaja con OpenWrt, que proporciona un sistema de archivos totalmente modificable con la gestión de paquetes, para utilizar el dispositivo de una manera más eficiente.

Sus dimensiones, facilita su montaje en la estructura del móvil al necesitar poco espacio, permitiendo la conexión de la webcam de manera sencilla y conectando al explorador a la red WiFi sin mayores problemas.

Posee un conector de alimentación Micro USB, con el que se elimina la necesidad de un adaptador para carga, sus características generales son mostradas en la tabla 7, así:

Tabla 7. Módulo WiFi FAST FWR 171

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Microprocesador CPU	Atheros MIPS 400MHz
Sistema RAM	32 MB RAM
Interfaz Ethernet	10/100 Mbps
Estándar inalámbrico	Interfaz inalámbrica 802.11 con una antena interna
Interfaz	Puerto USB 2.0
Energía	Consumo de energía de aproximadamente 1 W
Dimensiones	5,7 cm x 5,7 cm x 1,8 cm
Costo variable, uno de los más económicos del mercado	



Figura 32. Módulo WiFi FAST FWR 171

b. Receptor

Como receptor se tendrá un computador portátil con características básicas y principalmente que este dotada de una tarjeta de red inalámbrica que será la que permita la conexión WiFi a 2.4 GHz

3.6 DISEÑO DE CONTROL

Como conclusión de la tabla 8, se puede obtener que entre los dispositivos de entrada y salida, se emplearan 9 pines, por tanto se necesita un microcontrolador que posea esta cantidad de pines.

Tabla 8. Dispositivos de Entrada y Salida del Sistema

DISPOSITIVOS ENTRADA/ SALIDA	PINES EMPLEADOS
Web Cam	1
Servomotores (2)	1
Motores DC (2)	4
Sensor US 100	1
Transmisor	1
Receptor	1

Adicional a esto, se debe tomar en cuenta que para la aplicación del robot explorador, es decir considerando que el lugar de trabajo del móvil será por ductos ubicados a una distancia máxima de 20m de profundidad, se requiere una transmisión wireless, debido a que con el uso de esta se puede evitar el empleo de circuitería de comunicación serial, y ya analizada esta necesidad el dispositivo que se acopla a la aplicación de esta tarjeta es la plataforma Arduino, mostrada en la figura 30, la misma que es encontrada en diferentes versiones, sin embargo analizando la cantidad de pines a usar en este proyecto se empleara Arduino Duemilanove, por cumplir con las características requeridas, señaladas en la tabla 9:

Tabla 9. Características Arduino Duemilanove (Arduino web, 2010)

Microcontrolador	ATMEGA 168
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de Entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de Entrada (límites)	6-20V
Pines de Entrada/Salida (digitales)	14 (6 con PWM en salida)
Pines de entrada (análogos)	6
Corriente DC de E/S por pin	40mA
Corriente CC para Pin 3.3V	50mA
SRAM	1 KB (ATmega168) o 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) o 1 KB (ATmega328)
Velocidad del Reloj	16MHz



Figura 33. Arduino Duemilanove
(Arduino web, 2010)

3.6.1 SELECCIÓN LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Arduino es una plataforma de hardware y software libre, es decir, se puede utilizar libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador y puertos de E/S, por otro lado el software es un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación.

Arduino en síntesis es una plataforma diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios y a bajo costo.

Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el popular lenguaje de programación de alto nivel Processing; sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación tales como Java, Linux, Visual Basic, Ruby, etc.

Esto es posible debido a que Arduino se comunica mediante la transmisión de datos en formato serie que es algo que la mayoría de los lenguajes anteriormente citados soportan. (Arduino web, 2010)

El lenguaje de programación que se empleará será C no solo porque Arduino está basado en C y soporta todas las funciones del estándar C y algunas de C++, sino porque es un lenguaje de alto nivel, muy flexible que permite programar con múltiples estilos.

Se eligió un lenguaje de alto nivel debido a las características y ventajas que presenta frente a los lenguajes de máquina o bajo nivel como se muestra en la tabla 10:

Tabla 10. Comparación entre lenguajes de bajo y alto nivel

Lenguaje de bajo nivel	Lenguaje de alto nivel
Entendible por la máquina	Entendible por los humanos
Dependencia de la máquina	Independencia de la máquina
Instrucciones muy elementales	Instrucciones semánticamente complejas
La eficiencia en memoria y tiempo de ejecución son fines primordiales	Priman la productividad y la legibilidad
No existe detección de errores	Varias forma de detección de errores
Nula o escasa capacidad simbólica	Gran capacidad simbólica
Abstracción muy deficiente	Gran capacidad de abstracción

3.6.1.1 Lenguajes Visuales

Se necesita un lenguaje visual que permita crear aplicaciones, para desarrollar la interfaz gráfica que el operador utilizara para guiar al explorador y por ende inspeccionar el estado del ducto, a más de esto se este lenguaje de soportar lenguajes de programación como C++ (seleccionado como lenguaje del programa de control), y mantener su entorno de desarrollo en sistemas operativos Windows. Con estos antecedentes se ha seleccionado Visual Studio, cuyo entorno es mostrado en la figura 31, como el lenguaje visual que permitirá crear la interfaz del robot explorador, ya que facilita crear aplicaciones que se intercomunican entre estaciones de trabajo, y dispositivos móviles.

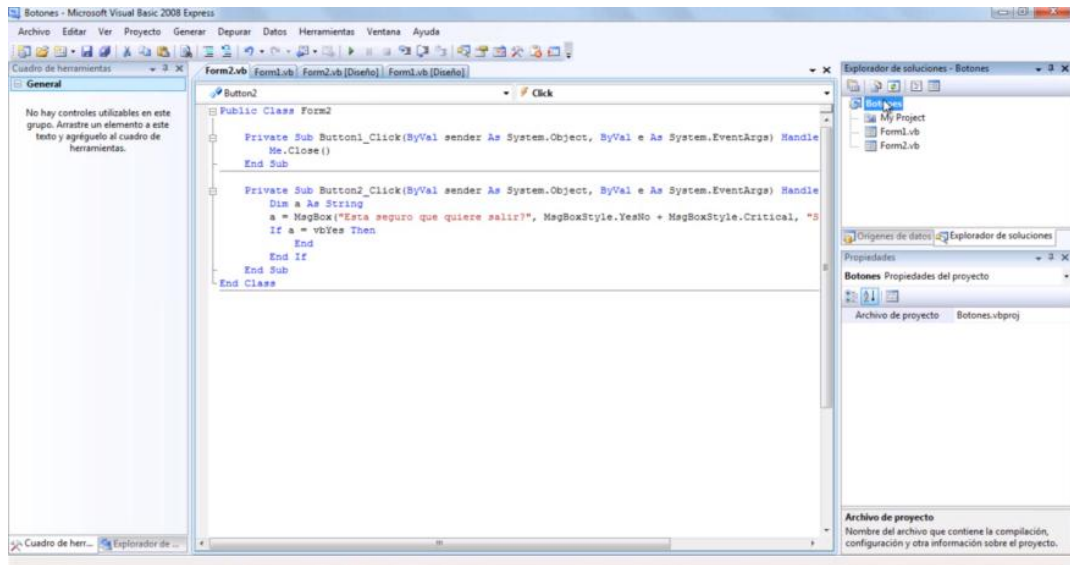


Figura 34. Entorno de programación en Visual

3.7 DISEÑO DEL SISTEMA

El Robot Explorador de Ductos, está estructurado por una placa principal de control, un tablero de base compatible con Arduino, una mini cámara USB, un sensor ultrasónico, y un router WiFi (TL-WR703N), además de una plataforma mecánica base.

La parte de control mecánico se lleva a cabo en el tablero de base compatible Arduino, mientras que la parte de la transmisión de vídeo se ejecuta en el router Wifi y la detección de obstáculos durante su desplazamiento es obtenida mediante un sensor ultrasónico US-100.

3.8 DISEÑO MECÁNICO IMPLEMENTADO

Tomando en cuenta las consideraciones analizadas anteriormente en los criterios de diseño mecánico, se diseñó una estructura capaz de adaptarse a la superficie curva de los tubos, seleccionando un diámetro adecuado de ruedas.

A su vez, esta estructura está diseñada para que el robot pueda desplazarse por trayectorias de diferentes radios de curvatura.

La facilidad de maniobra del móvil se debe en gran parte a la función que desempeña la denominada “rueda loca” (implementada en el sistema diferencial con tracción delantera), que se encuentra colocada en la base de la estructura y sirve de apoyo a las llantas que se encuentran ubicadas en la parte delantera, sujetas a los ejes de los motores que están anclados a la estructura con perfiles de aluminio, como se muestra en la figura 32 y figura 33 en diversas perspectivas.

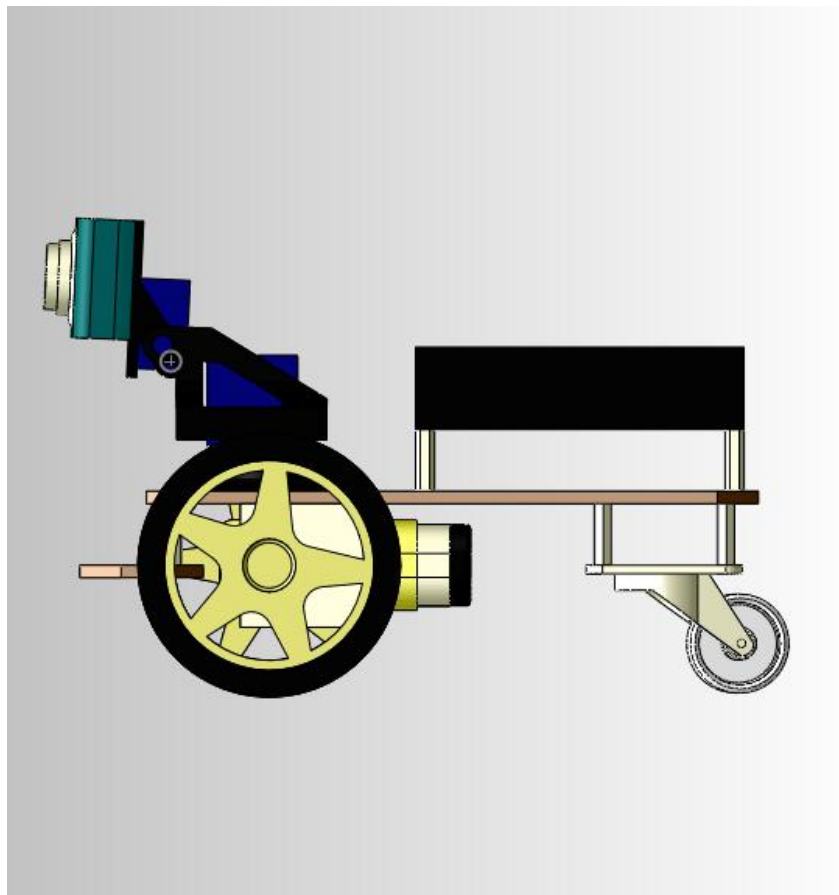


Figura 35. Vista de Perfil Robot Explorador

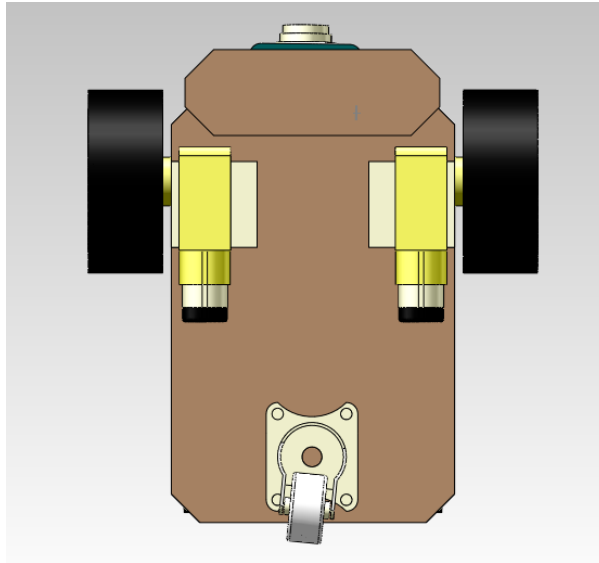


Figura 36. Vista inferior del robot

Analizando las dimensiones de los diámetros de tuberías existentes, se decidió que el explorador tenga las siguientes dimensiones: 120 mm de alto, 160 mm de ancho y 190 mm de longitud, con el fin de poder desplazarse sin mayores contratiempos, el diseño final del explorador es mostrado en la figura 34.

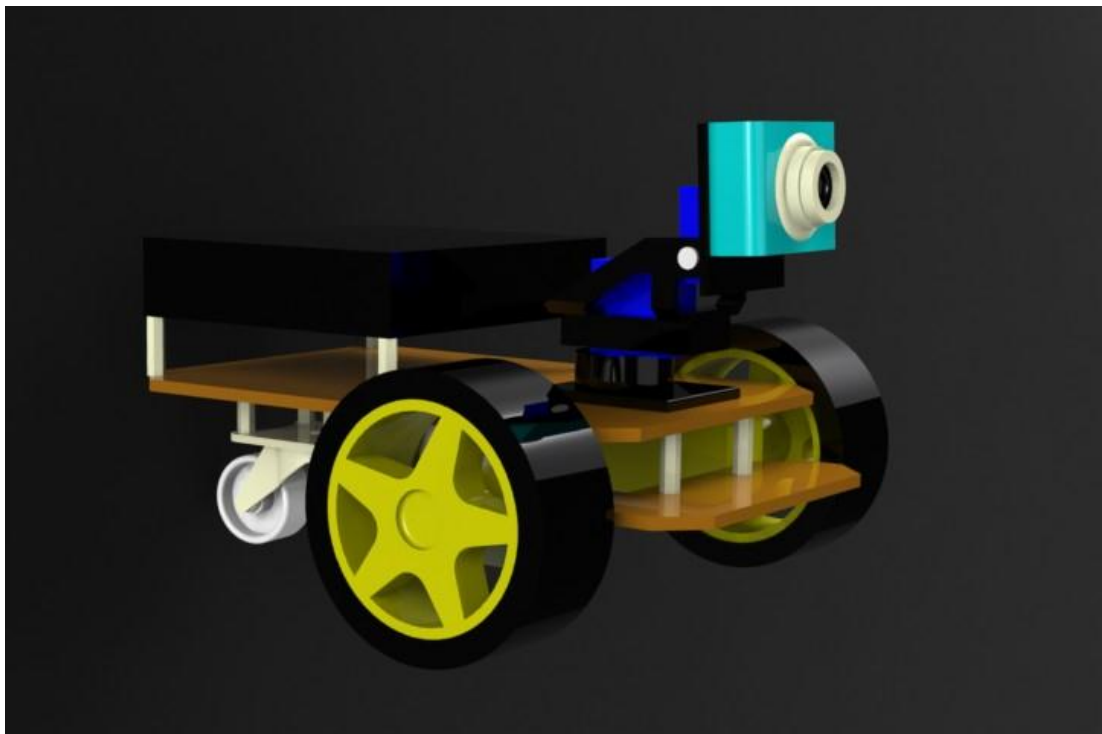


Figura 37. Diseño terminado del robot

3.8.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA BASE Y SISTEMA DE LOCOMOCIÓN

En el capítulo 3 se seleccionó como material para desarrollar las bases de la estructura el acrílico por varias de sus características, entre ellas su bajo costo y su alta resistencia a la intemperie. A continuación se muestra la descripción de cada pieza elaborada.

Bases

Se diseñó 2 placas como bases para la estructura del robot, mostradas en la figura 35, en ellas estarán sujetos los soportes de los motores. Además servirá para ubicar sobre ellas la tarjeta electrónica que contiene al Arduino y una de una dimensión mucho menor para sostener el módulo US 100 (sensor de proximidad).

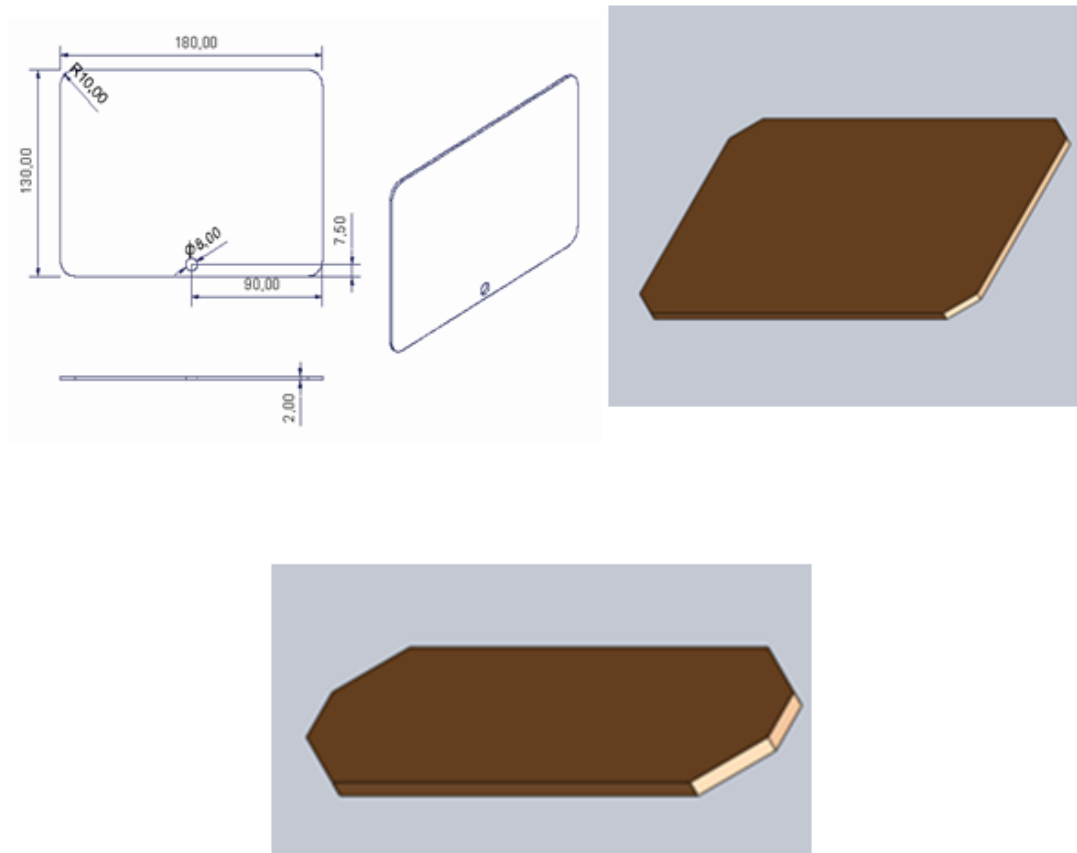


Figura 38. Esquema de placas base

Ruedas

Se eligió dos ruedas de goma del mismo diámetro, estas pueden ser observadas en la figura 36, estas ruedas fueron diseñadas tomando en cuenta la altura y el equilibrio que le puedan brindar al robot, en la figura 37, se puede observar el diseño de la rueda terminada.

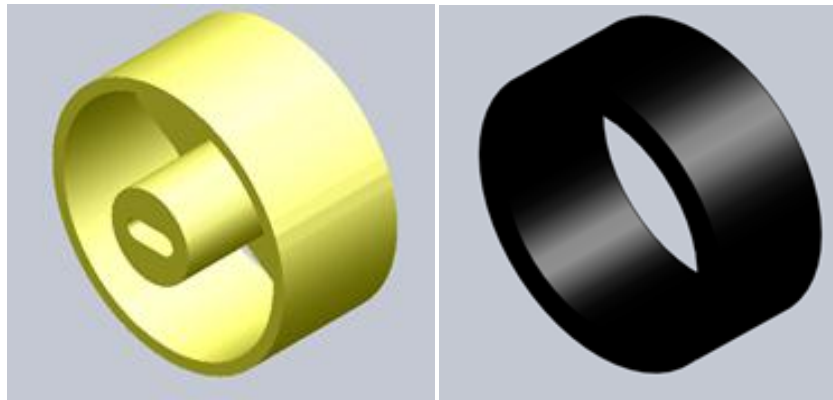


Figura 39. Diseño de las ruedas

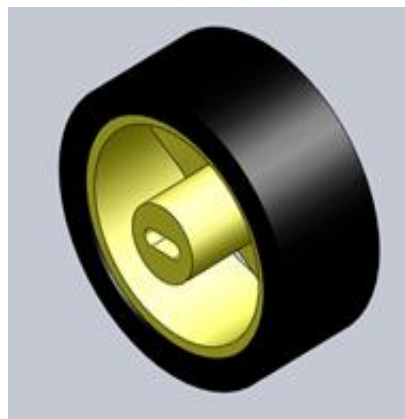


Figura 40. Rueda Móvil Explorador

Adicional a éstas se empleó una “rueda loca” que ayudara en la dirección del móvil, esta rueda está compuesta por soportes de fijación mostrados en la figura 38, los cuales serán unidos al diseño de la rueda, mostrada en la figura 39.

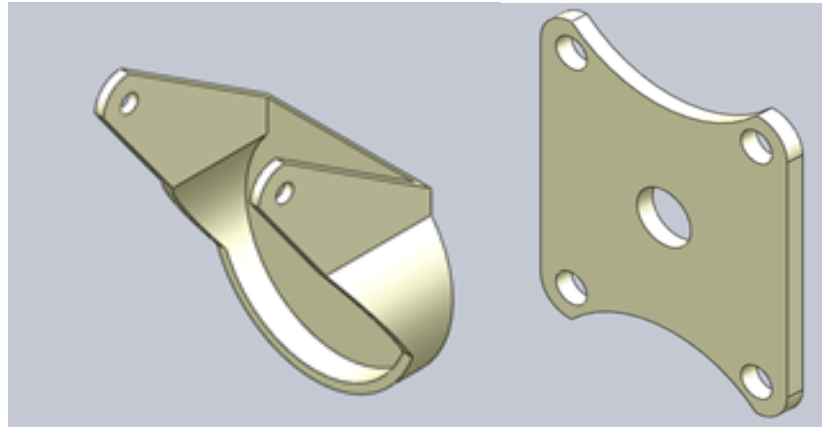


Figura 41. Esquema de soporte de fijación para rueda loca

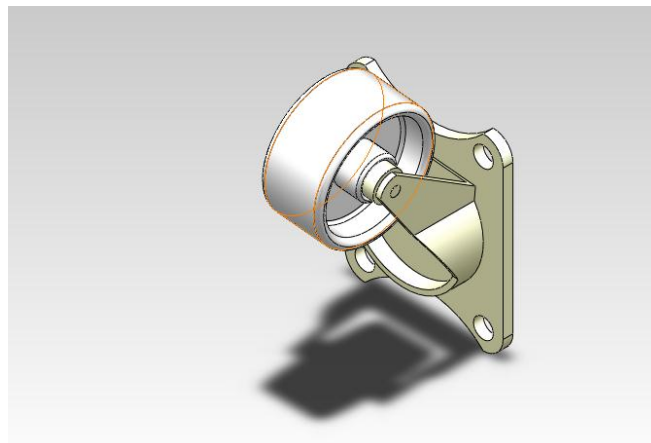
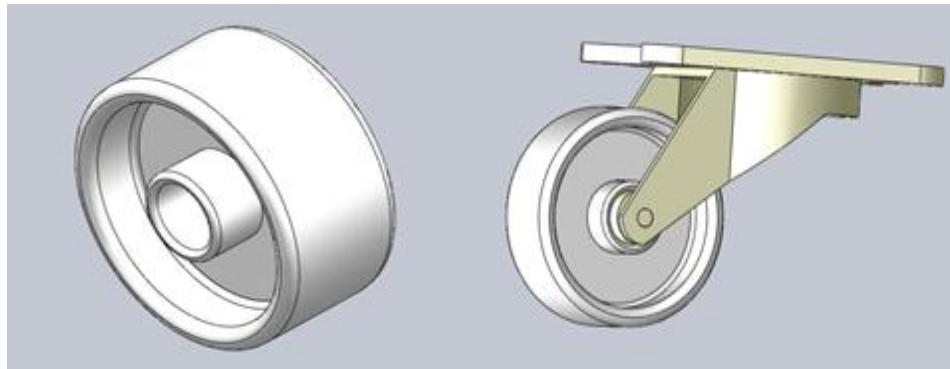


Figura 42. Union soporte - rueda

La rueda loca será sujeta a la base del sistema locomotor mediante pasadores como el mostrado en la figura 40.

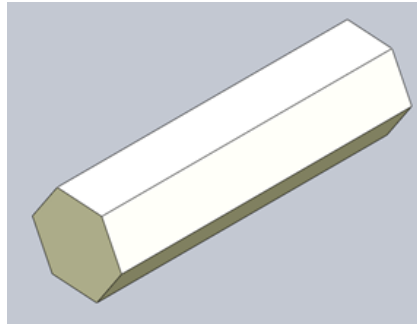


Figura 43. Pasador para fijación de rueda loca a estructura base

Los cuatros pasadores deberan ser colocados como se indica en la figura 41.

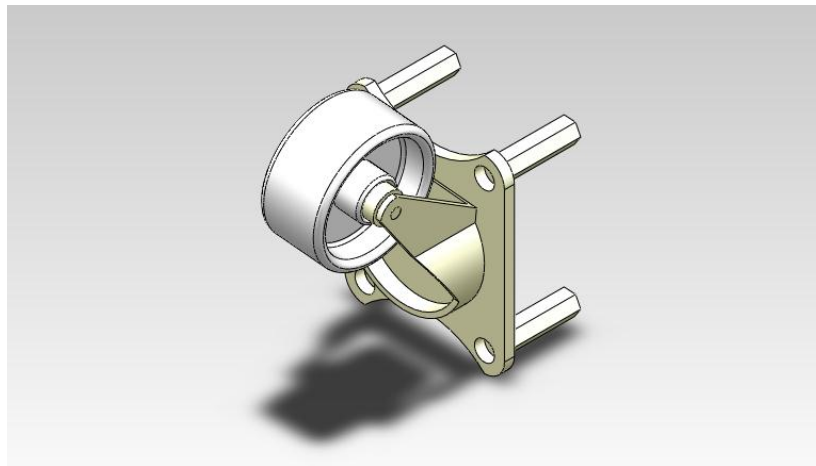


Figura 44. Rueda Loca

Soportes en base para los motores

Se elaboraron dos piezas de 2mm de grosor en aluminio, cada una de ellas servirá para sujetar los motores a la base, estas piezas pueden ser observadas en la figura 42.

Los motores DC, encargados del desplazamiento del móvil, están dotados de reductores de velocidad y ejes que facilitaran su incorporación a las ruedas del móvil, como se muestra en la figura 43.

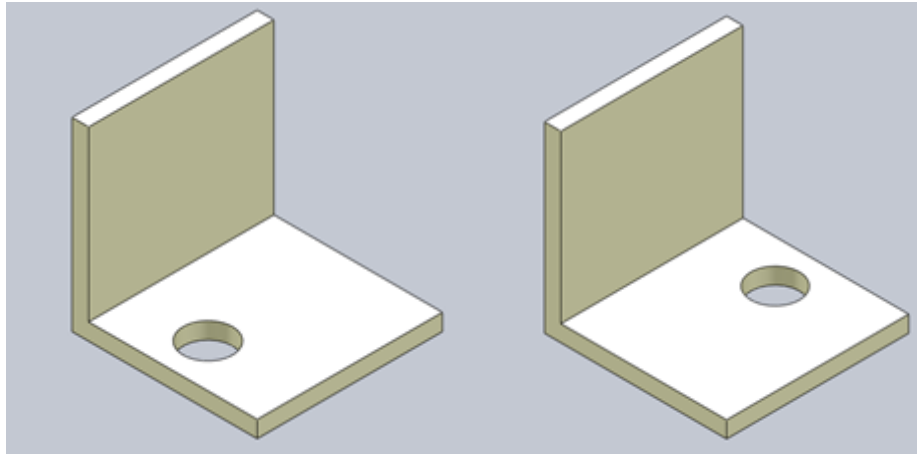


Figura 45. Perfiles para fijación de motor izquierdo y derecho

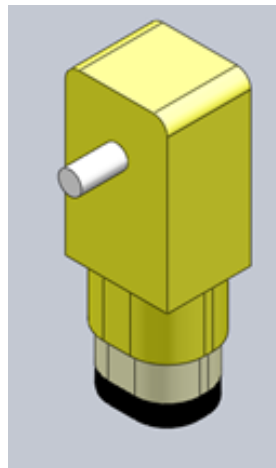


Figura 46. Motor DC con reductor de velocidad

3.8.2 ESTRUCTURA DE FIJACIÓN PARA LA WEBCAM

Se puede decir que ésta es la estructura más compleja realizada dentro del desarrollo de la parte mecánica, ya que se debió diseñarla y fabricarla con un alto grado de exactitud, para que de ninguna manera pueda interferir con el movimiento de cada servo que va sujeto (dos) y tienen una libertad de 180°. En la figura 44 se puede observar la base de la estructura, así como también el soporte del servo inferior que será anclado a este como muestra la figura 46.

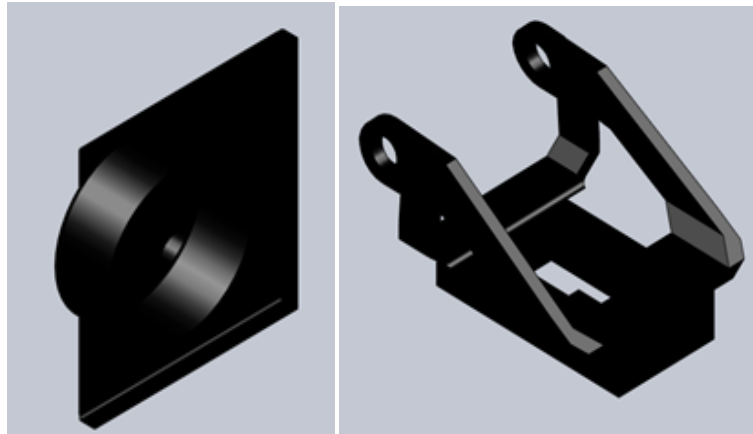


Figura 47. Diseño de la base de la estructura de fijación para la webcam

Ya que el sistema está compuesto por dos servos que permitirán el control de la cámara en el sentido derecha- izquierda, y arriba- abajo, en la figura 45 se puede observar el diseño del segundo soporte empleado para sujetar el servo superior como muestra la figura 47.

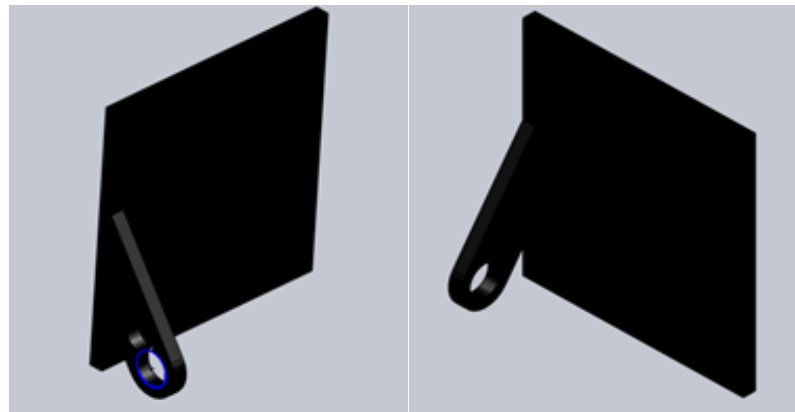


Figura 48. Soporte para servo superior

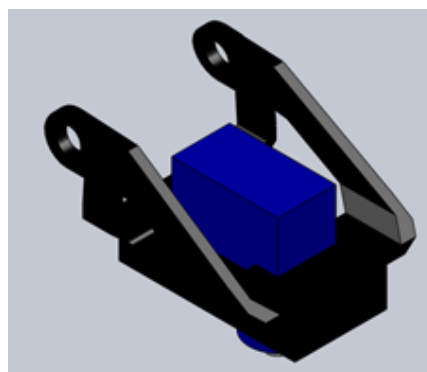


Figura 49. Anclamiento del primer servomotor en la base

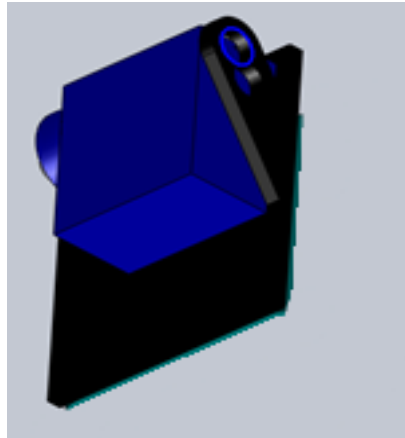


Figura 50. Fijación del servo en los soportes superiores

La estructura de soporte de la webcam puede ser observada en la figura 48.

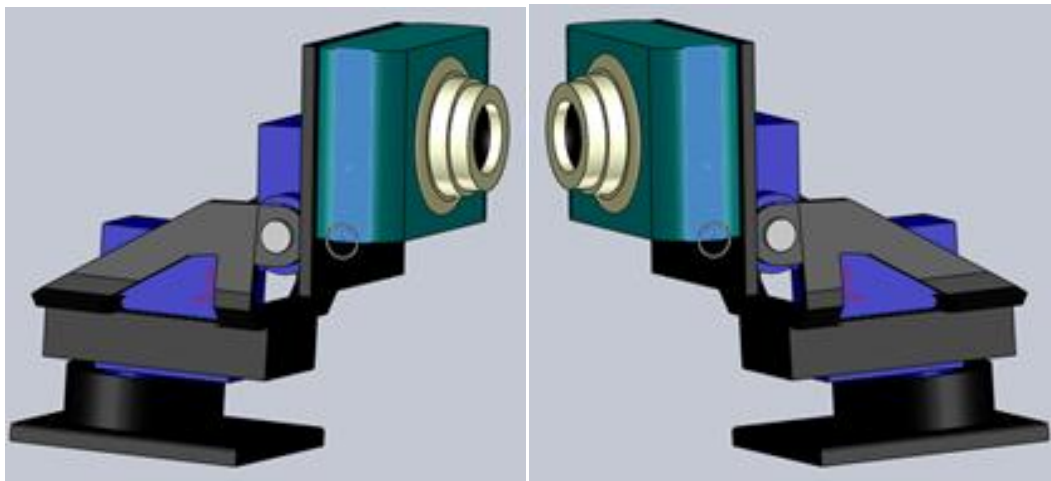


Figura 51. Estructura de fijación para la webcam (vista por ambos lados)

3.9 SISTEMA ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

Para el correcto funcionamiento de la parte de electrónica y control se establecieron las siguientes condiciones de funcionamiento, presentadas en la tabla 11, así:

Tabla 11. Condiciones de funcionamiento del sistema

Condiciones de Funcionamiento del Sistema	
Carga de voltaje de entrada	10-12V DC
Corriente de salida máxima en 5V	2A
Corriente máxima de conducción en motor	1.2A (dos motores)

3.9.1 FUNCIONAMIENTO ELECTRÓNICO

Para explicar el funcionamiento de la tarjeta de control, mostrada en la figura 49, se ha dividido a esta en varios módulos, como se indica a continuación:

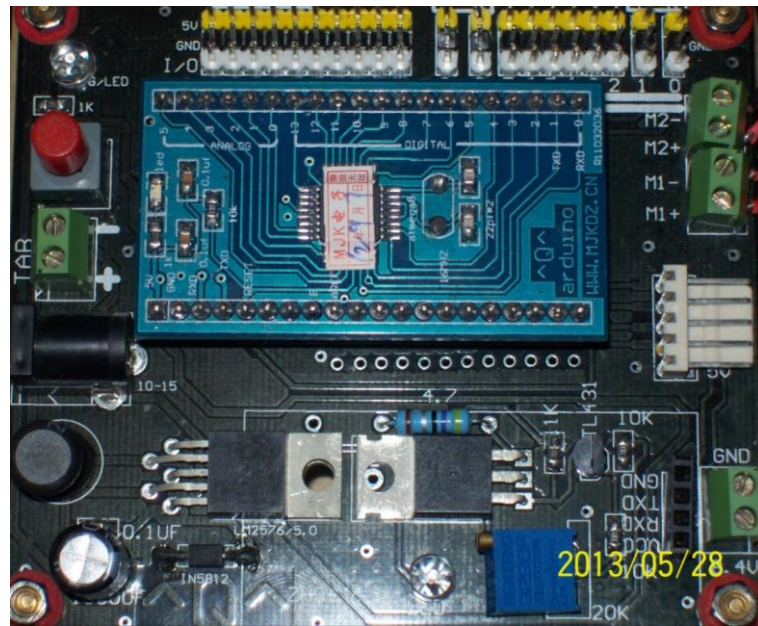


Figura 52. Placa de Control

Circuito de alimentación

Mostrado en la figura 50, es un circuito conformado por un regulador de voltaje LM2576T que permitirá tener a la salida un voltaje de 5v que es el ideal para el funcionamiento del móvil.

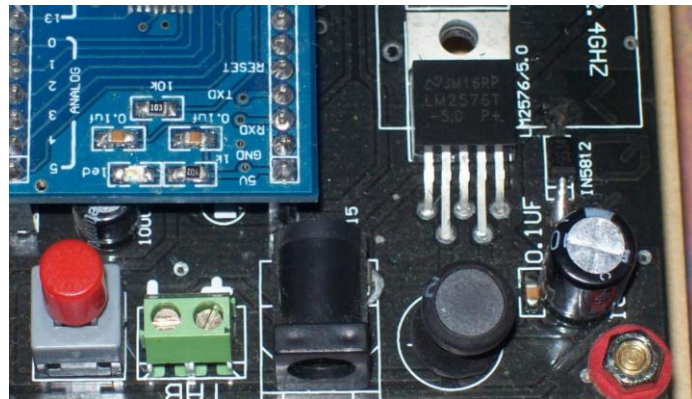


Figura 53. Circuito de Alimentación a 5V

Interfaz del router WiFi

En esta sección de la tarjeta, mostrada en la figura 51, se implementó un circuito amplificador de señal, a base de un transistor D880Y que amplificará la señal de entrada, permitiendo una transmisión asíncrona a través del módulo wireless, el mismo que podrá mantener una comunicación a 2.4 GHz con un computador mediante el protocolo IEEE 802.11.

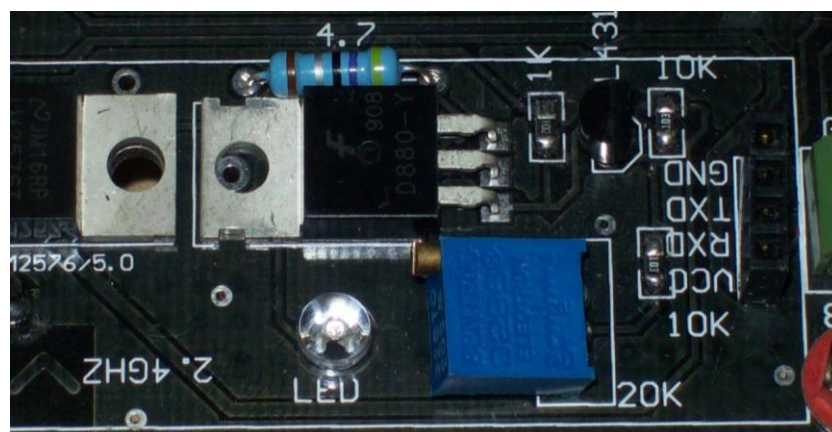


Figura 54. Interfaz del router

El módulo WiFi FWR171-3G posee una transmisión 150 Mbps, compatible con 3G y requiere de una fuente de alimentación externa de 5V / 1A.

Este módulo es conectado a la placa mediante un terminal UART (mostrado en la figura 52), que es un dispositivo que sirve para transmitir o recibir datos

secuenciales a grandes distancias y en este caso de manera asíncrona. Se usa para transmisión a grandes distancias.

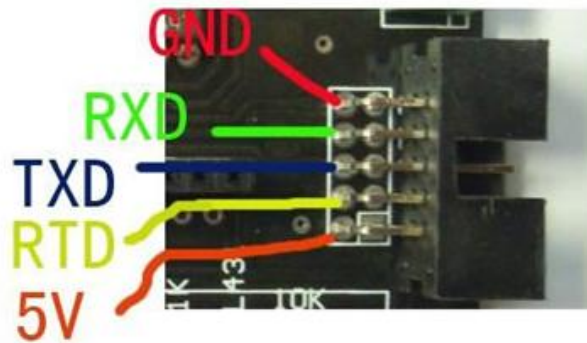


Figura 55. Terminal de conexión del módulo WiFi

Borneras de conexión para motores DC (dos)

Estas borneras (mostradas en la figura 53), permiten la conexión de los dos motores de corriente continua, instalados en la base, que permiten el movimiento del móvil. Cada uno posee una salida máxima de corriente 600 mA, y en total, no más de 1,2 A (dato establecidos como condición del funcionamiento del sistema).

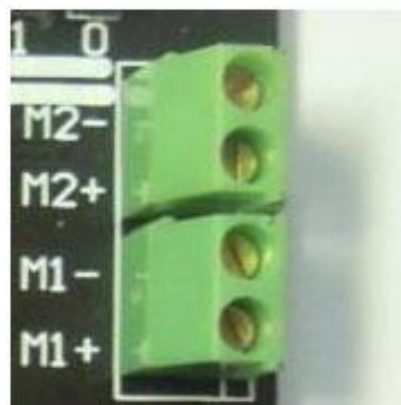


Figura 56. Canales de conexión para motores DC

En la posición + M1 y - M1, está conectados el primer motor, de igual manera en la posición + M2 y - M2 está conectado el segundo motor.

Los dos motores son controlados a través de los comandos manejados por la tarjeta Arduino. Los pines 2 y 3 permiten el control del motor M1, y los pines 4 y 5 el control del motor M2.

Módulo de interfaz

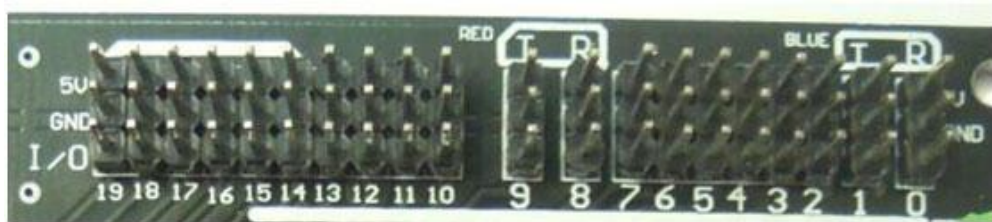


Figura 57. Módulo de Interfaz

Está conformado de la siguiente manera:

- 0 -13 puertos digitales
- 14-18 puertos analógicos
- 19 puerto de tensión ADC.

Su objetivo principal es servir de medio de comunicación entre los sistemas del móvil. La conexión de los servomotores para su control se realiza en los puertos 6 y 7, de igual manera el módulo US 100 (sensor de proximidad) será conectado en los puertos 8 y 9.

Como se puede ver en la figura 54, cada pin tiene una función diferente así, el primero corresponde a los 5V de entrada, el segundo es el pin para tierra y el tercero se lo emplea para la transmisión de datos.

Conector de batería recargable

Esta sección de la tarjeta, observada en la figura 55, se utiliza para conectar 2 baterías de Litio de 4.2V en serie. Esto equivale a 8.4V, donde la corriente de carga es 500mA.

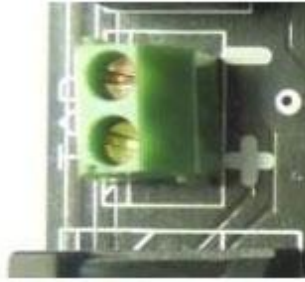


Figura 58. Conector para baterías

En las figuras 56 y 57 se observa una bornera con salida de 8.4 V, voltaje que permitirá encender otros dispositivos en caso de ser necesario, y una entrada para el adaptador de pared que proporciona al sistema de 10 a 12 V DC, respectivamente.



Figura 59. Bornera con salida de 8.4V



Figura 60. Entrada para plug del cargador de pared

3.9.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE ENTRADA, SALIDA Y POTENCIA

En esta parte del proyecto se procederá con la explicación del funcionamiento de los principales dispositivos ya sean de entrada, salida o control.

3.9.2.1 Funcionamiento del US-100 para Detección de Obstáculos

Una vez puesto en funcionamiento el explorador la tarjeta de control envía una señal en alto al sensor US100, para que inicie su labor; el US100, en respuesta, enviará ráfagas cortas de onda de sonido ultrasónico, y luego genera a la salida un impulso tan pronto como se detecta un eco de retorno.

En la tabla 12 se indica la asignación de cada pin de contacto mostrado en la figura 58.

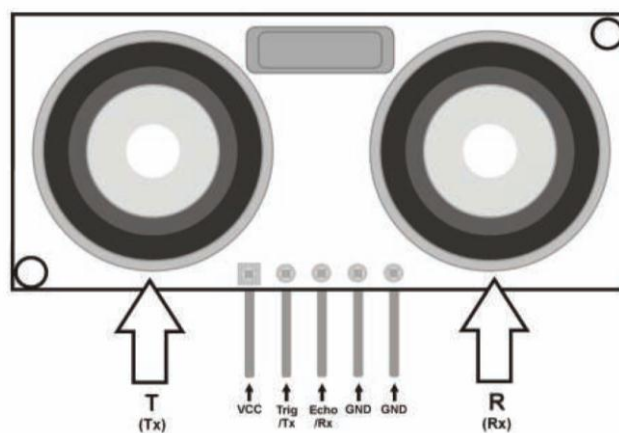


Figura 61. Componentes US 100

Tabla 12. Asignación y descripción de pines de contacto

Pin N°	ID	Descripción
1	VCC	5V Entrada de energía
2	Trig	Trigonometría entrada del disparador activa ALTA
3	Eco	Salida de pulsos de eco
4	GND	GND Tierra
5	GND	GND Tierra

3.9.2.2 Resolución de distancia

Como se muestra en el diagrama de temporización de la figura 59, la medición de distancia se inicia mediante la activación de la entrada de disparo con un pulso. El US-100 responde con un impulso de salida de eco.

Se puede resolver la distancia mediante la medición de la anchura de impulso de salida.

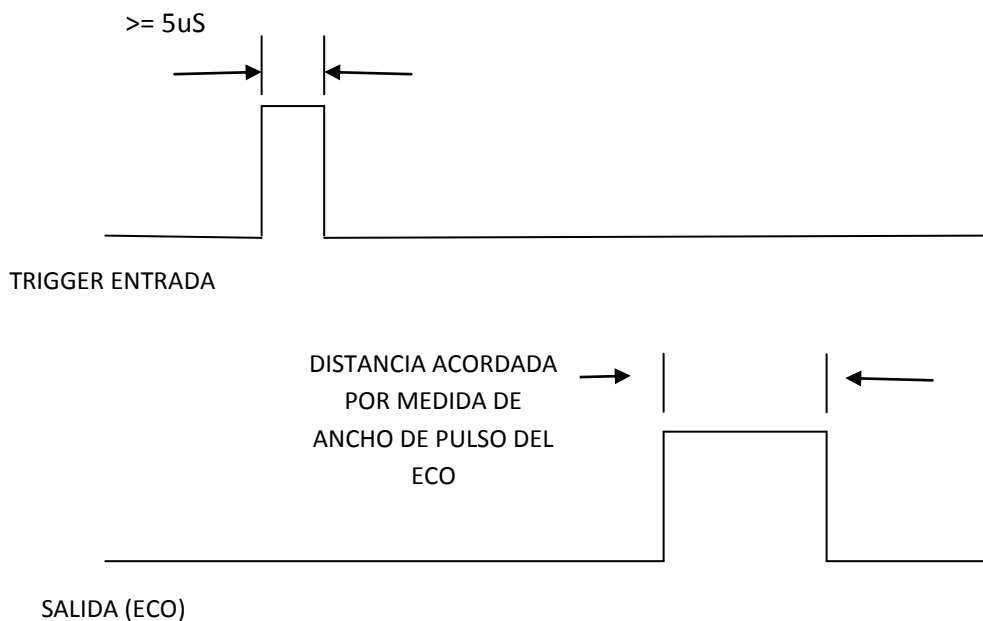


Figura 62.Diagrama de temporización

La anchura del impulso de respuesta del eco se corresponde con el tiempo que tarda el sonido ultrasónico para viajar desde el sensor hasta el objeto y volver. La distancia del objeto se pudo calcular a través de la ecuación (3.8):

$$D = \frac{Ap * Vs}{2}$$

Un valor de anchura de impulso superior a 60 ms indica una condición de fuera de rango.

La velocidad real del sonido depende de varios factores ambientales, como la temperatura que tiene el efecto más pronunciado. La velocidad del sonido en seco se determina aproximadamente por:

$$Vs = 331,4 + 0.6T \text{ m/s} \quad (3.9)$$

Donde:

Vs= Velocidad del Sonido

T= Valor registrado de la Temperatura

Pero una de las características del US-100 es su construcción en temperatura de compensación. Por lo tanto, con el efecto de la temperatura fuera de la ecuación, la fórmula de la distancia es reducida a:

$$D = A_p * 165.7 \text{ metros} \quad (3.10)$$

Donde:

A_p= anchura de pulso en segundos

El US-100 tiene un patrón de detección que se extiende desde la boca del sensor en un ángulo de 15 grados. Un efecto obvio y probablemente no deseable de estas características es que el sensor tendrá una ventana de detección efectiva más grande cuanto más lejos del objeto de interés este el sensor.

Esto permitirá al sensor "ver" más objetos, por esto, será cada vez más distraído por otros objetos cercanos, por lo que es más propenso a errores.

La detección a larga distancia requiere que la sección transversal del objeto de destino sea lo suficientemente grande para que la detección sea precisa y fiable.

El US-100 funciona con tensiones de alimentación 2.4V a 5V. Para obtener la mejor coincidencia de nivel lógico, se debe utilizar la misma fuente de la tarjeta de control.

El uso de una tensión de alimentación más baja puede resultar en una reducción en el rango de detección de distancia.

El US-100 requiere sólo dos puertos E/S para conectarse con la tarjeta de control. El software del controlador debe asignar un puerto de salida para impulsar la entrada de disparo US-100 y un puerto de entrada para leer y medir la salida de ancho de pulso del eco.

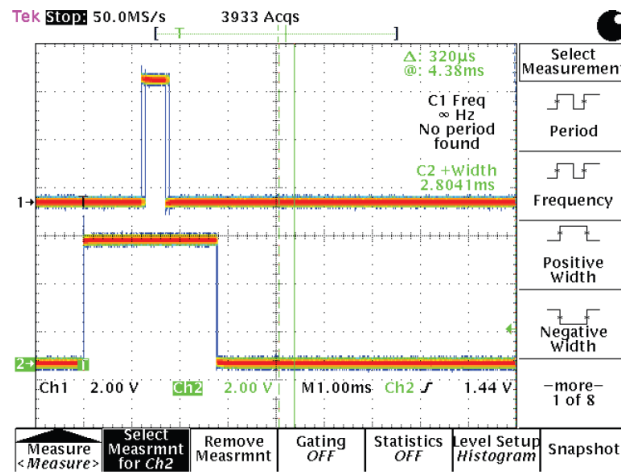


Figura 63. Determinación de distancias

3.9.2.3 Control de sentido de giro de los motores DC

El control del sentido de giro de los motores se lo realiza mediante el uso de un circuito integrado L293D, representado en la figura 61, lo que garantiza el control simultáneo y, además, en forma bidireccional del móvil en cualquier momento o posición durante el recorrido. En la tabla 13 se puede observar los parámetros de funcionamiento que corresponden a cada situación de trabajo del integrado:

Tabla 13. Parámetros de funcionamiento L293D (Datasheet AST L293D)

	A	B	Función
H	H	L	Giro derecha
H	L	H	Giro izquierda
H	L/H	H/L	Parada rápida
L	NN	NN	Parada Lenta
L= bajo H= alto			

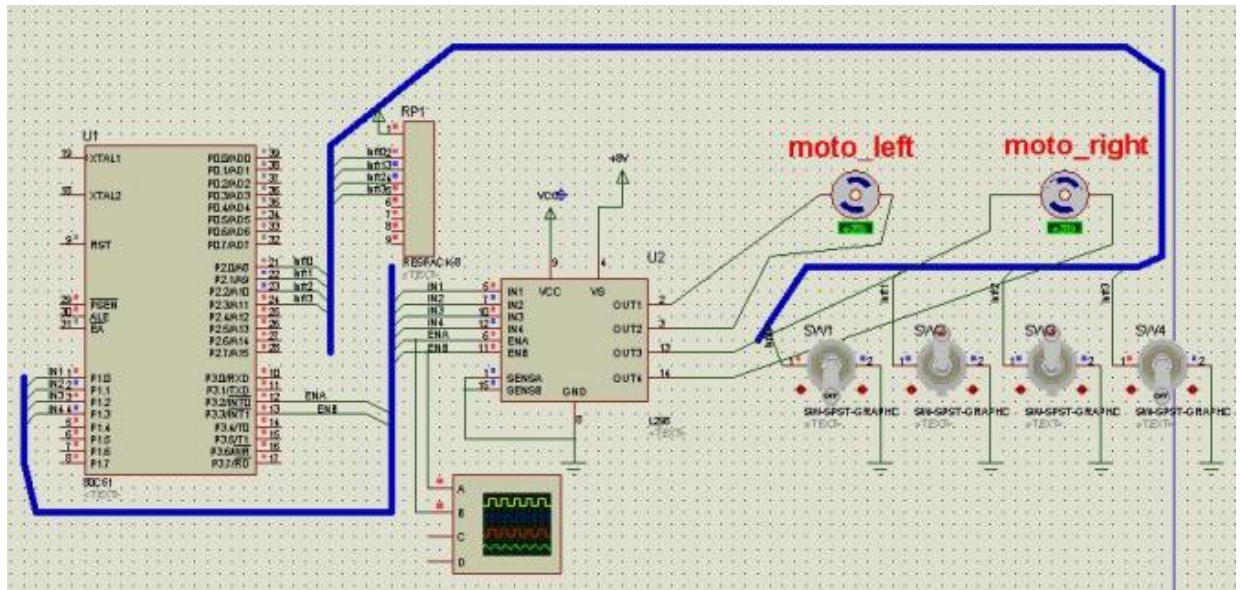


Figura 64. Conexión del Control de Motores

3.10 SOFTWARE DE CONTROL

En el proyecto la tarjeta de control, es el dispositivo que recibe las tramas de comunicación provenientes del modulo de comunicación WiFi, las analiza y permite el control del movimiento tanto de los servomotores, que permitirán manipular la webcam, como de los motores DC que proporcionan la movilidad al explorador.

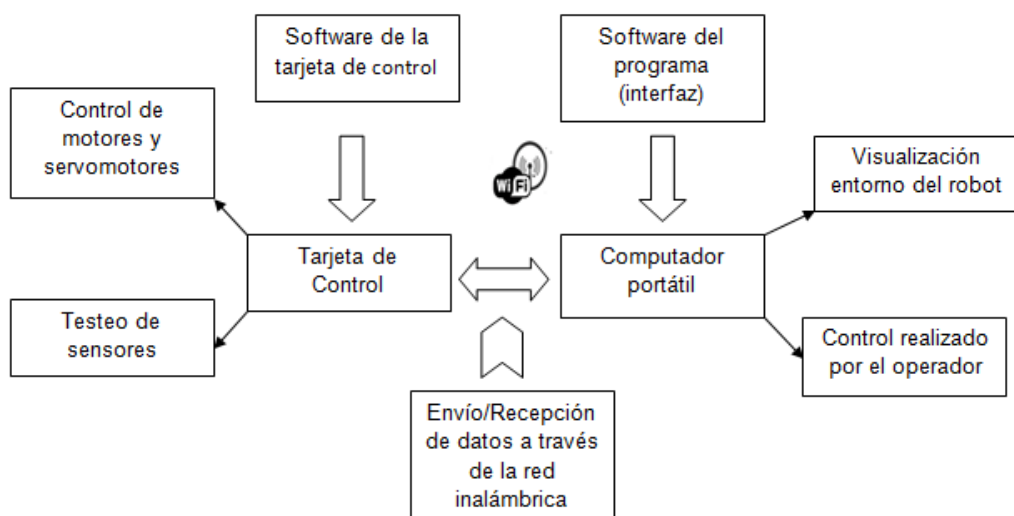


Figura 65. Diagrama de bloques control del explorador

En la figura 63 se muestra el diagrama de flujo del sistema de control de movimiento del robot, el cual recibe los datos de control provenientes de la a través del modulo de comunicación WiFi, luego los envía al microcontrolador a través del UART, este los analiza y permite accionar el sentido de giro de los motores para controlar el movimiento del robot.

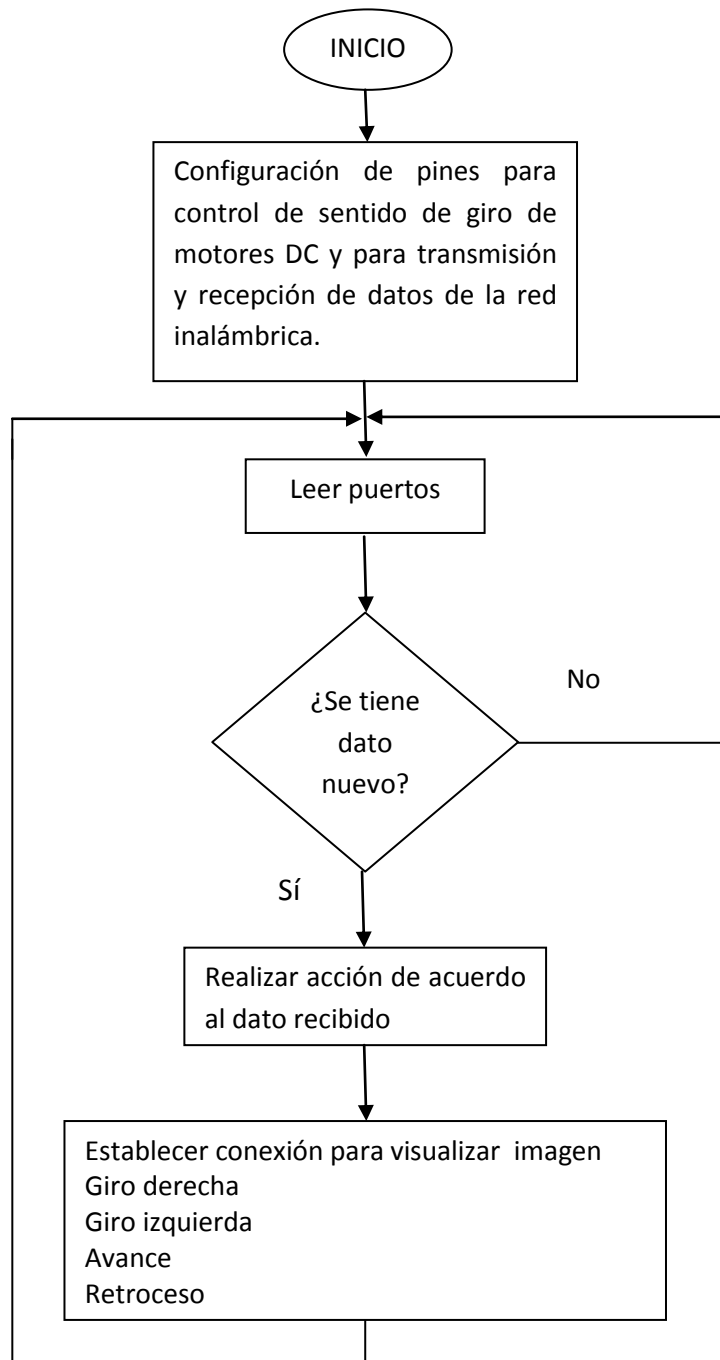


Figura 66. Diagrama de flujo tarjeta de control

3.10.1 FUNCIÓN DEL PROGRAMA DESARROLLADO EN LENGUAJE C

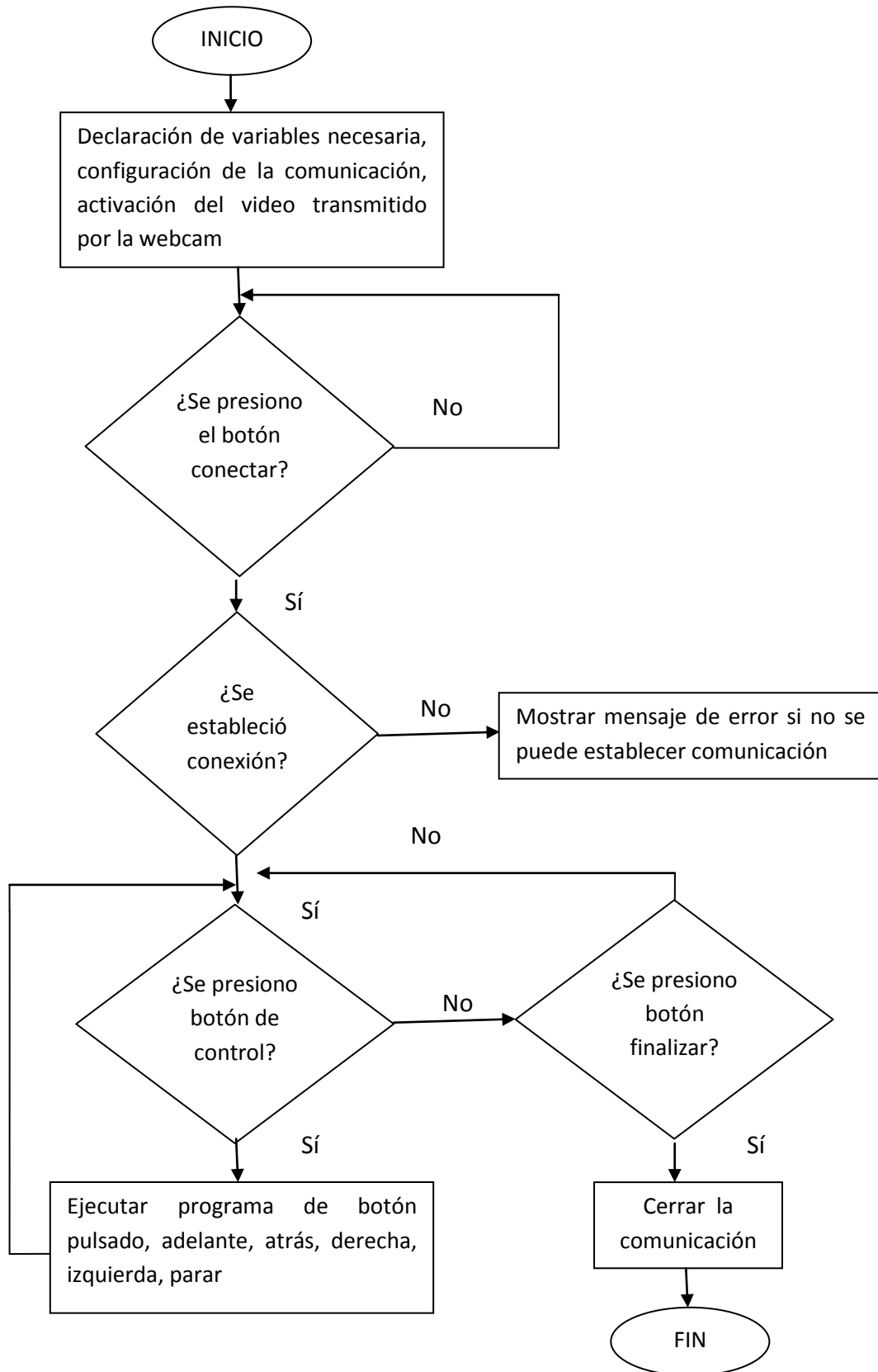


Figura 67. Diagrama del programa

En el diagrama de flujo mostrado en la figura 64 se presenta la estructura del programa, primero se configura la comunicación y se declaran las variables, luego se pregunta si se ha presionado un botón, si se ha presionado envíe un dato al puerto para que lo transmita, de lo contrario siga preguntando, para mostrar el video de la cámara.

Este programa se encarga de hacer conexión con el módulo inalámbrico WiFi a través de la dirección IP asociada al módulo y este a su vez transmite los datos que son recibidos por la tarjeta; además esta interfaz gráfica muestra el video que transmite la webcam a través de la red.

3.11 CINEMÁTICA DEL MÓVIL

Para el estudio de la cinemática se consideró la configuración del móvil con sistema diferencial. La cinemática del móvil, queda determinada por su posición en el plano respecto a un sistema de referencia global (X_G , Y_G) y la orientación del eje principal del cuerpo, ϕ como se puede observar en la figura:

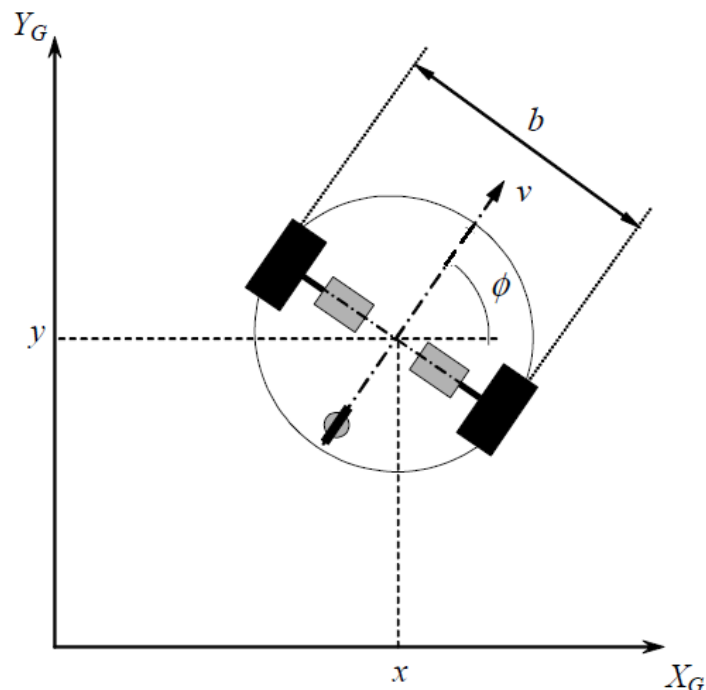


Figura 68. Parámetros de un móvil con sistema diferencial tracción delantera

En este caso las variables de control son w_i y w_d , que representan las velocidades de giro de las ruedas izquierda y derecha respectivamente. (Baturone, 2001). Si el radio de la rueda es r , las velocidades lineales correspondientes son:

$$v_i = w_i \times r \quad (3.11)$$

$$v_d = w_d \times r \quad (3.12)$$

Donde:

v_i = Velocidad lineal rueda izquierda

v_d = Velocidad lineal rueda derecha

w_i = Velocidad angular rueda izquierda

w_d = Velocidad angular rueda derecha

r = radio de la rueda

En este caso, la velocidad lineal y la velocidad angular correspondientes al móvil vienen dadas por:

$$v = \frac{v_i + v_d}{2} = \frac{(w_i + w_d) \cdot r}{2} \quad (3.13)$$

$$w = \frac{v_d - v_i}{b} = \frac{(w_d - w_i) \cdot r}{b} \quad (3.14)$$

Donde:

v = Velocidad lineal del móvil

w = Velocidad angular del móvil

b = Distancia de separación entre las ruedas

Siendo b la vía del vehículo (distancia que separa las dos ruedas motrices). Si se especifican la velocidad lineal v y la angular w del vehículo, las velocidades de giro que hay que aplicar a las ruedas derecha e izquierda son:

$$w_i = \frac{v - \frac{b}{2} \cdot w}{r} \quad (3.15)$$

$$w_d = \frac{v + \frac{b}{2} \cdot w}{r} \quad (3.16)$$

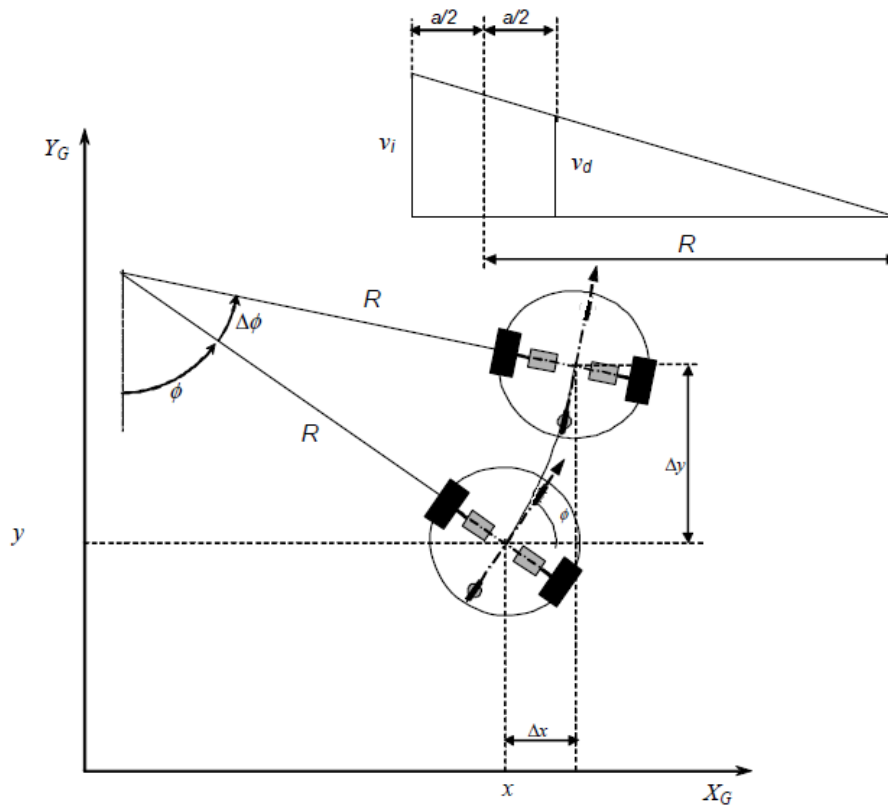


Figura 69. Posicionamiento de un móvil con sistema diferencial

La evolución de la postura en función de las variables de control se puede expresar como:

$$R = \frac{b}{2} \cdot \frac{v_i + v_d}{v_d - v_i} \quad (3.17)$$

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{v_d - v_i}{b} \quad (3.18)$$

Donde:

R = Posición del móvil

$\Delta\phi$ =Ángulo girado por el robot.

Si se traslada esto a los incrementos de posición del origen del robot se obtiene:

$$\Delta x = R (\sin(\phi + \Delta\phi) - \sin \phi) \quad (3.19)$$

$$\Delta y = -R (\cos(\phi + \Delta\phi) - \cos \phi) \quad (3.20)$$

Donde:

Δx = Desplazamiento del robot en el eje x (horizontal)

Δy = Desplazamiento del robot en el eje y (vertical)

3.11.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL

La arquitectura del sistema de control del robot explorador se muestra en la figura 67.

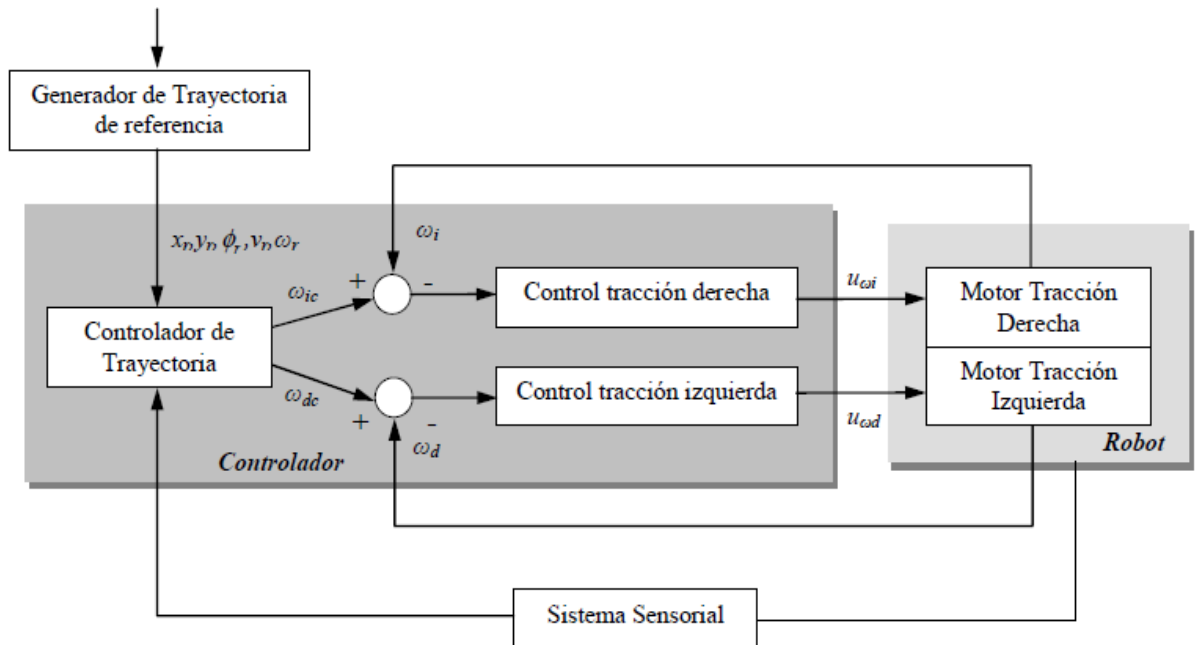


Figura 70. Diagrama de Control del Sistema del Robot Explorador

La misión del controlador de trayectoria consistirá en conseguir que las velocidades y posición de ambas ruedas sean las correctas en cada instante de tiempo. El sistema sensorial se compone fundamentalmente de un sensor de proximidad (US 100).

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO

El móvil explorador está compuesto por un sistema de comunicación y visión tal como se observa en la figura 31, que consiste en utilizar la tecnología WiFi como medio de comunicación y a través de ella transmitir el video de la webcam, esto con el fin de que el usuario tenga un control hacia el robot. Un robot móvil que integra un sistema de alimentación, una webcam, estructura, controlador, sistema de locomoción y componentes eléctricos y la interfaz gráfica de usuario, que es el software para computador específico a la actividad del robot que permite ver el video en tiempo real de la cámara del robot, manipular el control de giro de la cámara y controlar el movimiento del robot.

El sistema de comunicación se instauró como uno de los ejes principal del robot ya que transmite el video y las órdenes generadas por el usuario tanto de un lado (robot) como del otro (usuario).

Teniendo en cuenta esta premisa es preciso establecer que sistema de comunicación fue escogido de manera pertinente para el robot y así mismo las interfaces de conexión tanto con el usuario como con el dispositivo robótico.

En lo referente a la parte mecánica se concluye que el diseño tanto de bases como de soportes, fue el apropiado ya que los materiales en los que fueron desarrollados estas estructuras no han presentado ningún tipo de deformación ni mucho menos fractura o agrietamiento durante el trabajo del móvil, acoplándose de manera perfecta a las características del entorno de trabajo del explorador.

El sistema de locomoción presento un inconveniente debido a la superficie rugosa del terreno en el cual se desplaza el móvil, por lo cual se debió

reducir el campo de acción del explorador a superficies de ductos lisas donde la acumulación de sedimentos sea mínima.

Por otro lado el explorador puede trabajar en sectores húmedos pero siempre y cuando estos estén libres de fluidos, o estos se encuentren en cantidades mínimas.

La tasa de reducción aplicada a los motores DC es óptima, ya que permite tener una velocidad de 100 RPM, que es suficiente para el recorrido del explorador.

Los servomotores de 9g ayudaron al control de los movimientos necesarios para la cámara ya que al anexarlos a las estructuras diseñadas para su sujeción, estas no presentaron ningún inconveniente para su desempeño, esta teoría se puede demostrar en base a los cálculos realizados en la tabla 14, que tiene como base los datos teóricos de la tabla 4 del capítulo anterior.

Tabla 14. Datos Prácticos uso de Servos

Datos Prácticos
<p>$m = 85 \times 10^{-3} \text{ Kg}$ $d = 0.025 \text{ m}$ (medido desde el eje del servomotor hasta el centro de gravedad del cuerpo)</p> $T = Fxd$ $T = mxgxd$ $T = 85 \times 10^{-3} \text{ Kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.025 \text{ m}$ $T = 20.8 \times 10^{-3} \text{ Nm}$ <p>Torque necesario para levantar la estructura de la cámara.</p>

Para finalizar el análisis del proyecto, este mantuvo un recorrido con un alcance aproximado de 40 m, en caso de que se necesitara un mayor

alcance se debe variar el interfaz del router WiFi, implementando un amplificador de mayor potencia, o simplemente anexando un nuevo módulo ya que el empleado en este proyecto es uno de los más sencillos y económicos en el mercado por ende sus niveles de transmisión no serán muy altos; así mismo en caso de que fuese necesario realizar su trayecto por superficies no lisas se debe implementar un nuevo sistema de locomoción.

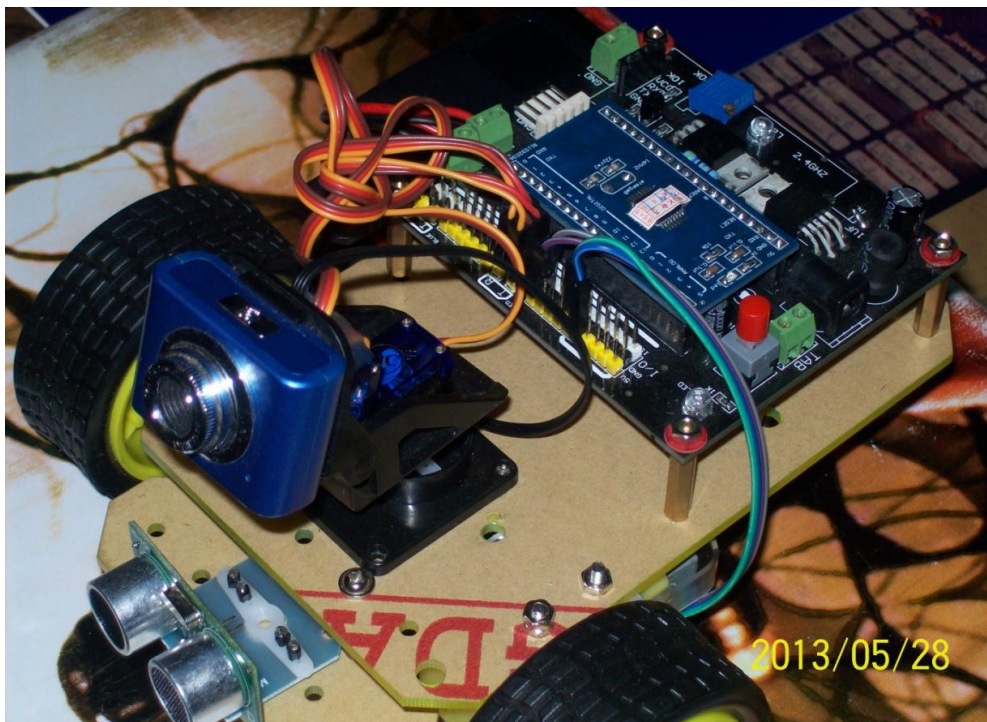


Figura 71. Vista superior Robot Explorador de Ductos

4.2 MODO DE OPERACIÓN

En esta sección se describen los pasos a seguir para que el explorador inicie su trabajo.

4.2.1 ENCENDIDO Y ESTADO DE BATERÍA

Para encender el explorador se debe pulsar el botón rojo ubicado en la parte derecha de la tarjeta de control, y con ello deben encenderse dos led color

azul, el primero ubicado junto al pulsador de encendido, y el segundo frente al mismo, estos led permitirá identificar el nivel de carga del explorador, así como posibles daños en el futuro puesto que se apagaran automáticamente si algún elemento no está operando de manera correcta, para dar aviso al operador.

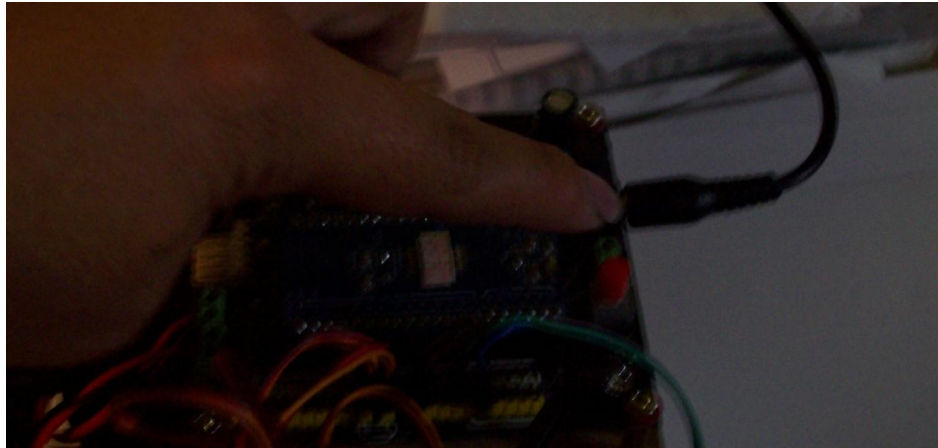


Figura 72. Encendido del explorador

Por otro lado en caso de que el primer led emita intercepciones de luz significa que la batería está próxima a necesitar una recarga para lo cual debe ser retirado del ducto y posteriormente conectado con un adaptador DC para su respectiva reposición de energía.

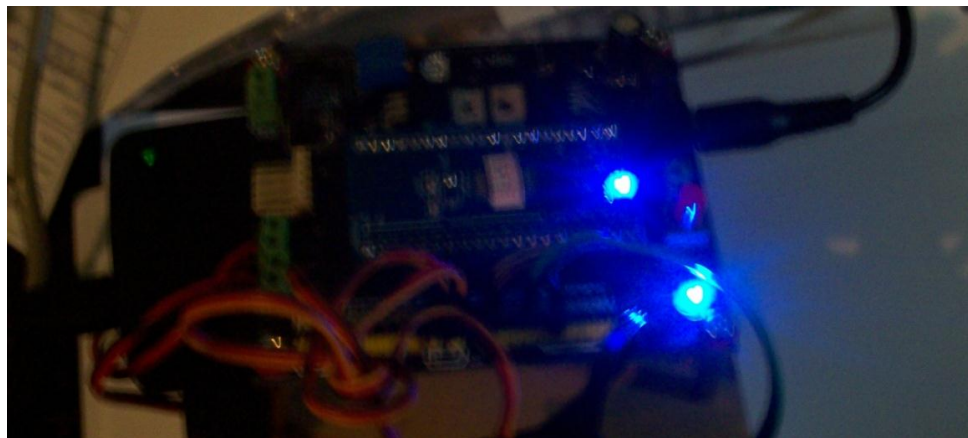


Figura 73. Indicadores de Energía y Funcionamiento

En condiciones en las que los dispositivos que integra el prototipo piden la corriente máxima a la batería esta se descarga en aproximadamente 3h 30min, teniendo en cuenta que esas condiciones son que la cámara se esté moviendo en sus dos ejes (horizontal y vertical), los 2 motores estén accionados y el modulo este transmitiendo o recibiendo datos.

En condiciones en las que la cámara no se mueve y solo se desplaza el prototipo, la batería se descarga en aproximadamente en 5h. La batería tiene un tiempo de carga de 8h con el fin de que su alimentación sea la más óptima para los dispositivos del móvil explorador.

4.2.2 CONFIGURACIÓN DE LA RED

Para configurar la red del explorador, se debe conectar un cable de red al puerto ubicado en el módulo de trasmisión.



Figura 74. Configuración de la Red

Luego de haber conectado el cable se debe configurar la interfaz de red en el computador para permitir la asignación dinámica de dirección IP por DHCP. La dirección IP por defecto del explorador es la 192.168.0.1. El robot le debe asignar una dirección en el rango de 192.168.0.2 a 192.168.0.254.

En una consola del sistema operativo, use los comandos ipconfig/all (en Windows) o ifconfig (en Linux) para verificar la dirección IP asignada a la

máquina. Si la dirección se encuentra en el rango anteriormente definido, se encuentra correctamente conectado.

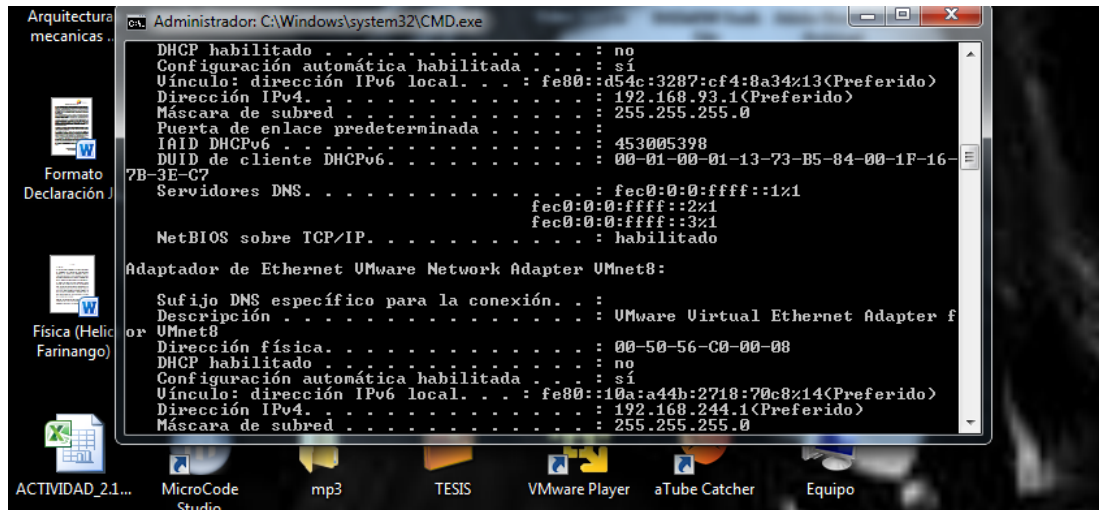


Figura 75. Asignación de IP

Ahora se puede ingresar a la interfaz web del robot, donde se podrá configurar todos los parámetros de red que desee (Wifi, LAN, WAN). Se utiliza el navegador para ello, simplemente en la barra de dirección se coloca la dirección IP del explorador (192.168.0.1). Si todo sale correctamente, se debe observar una portada similar a la siguiente figura:

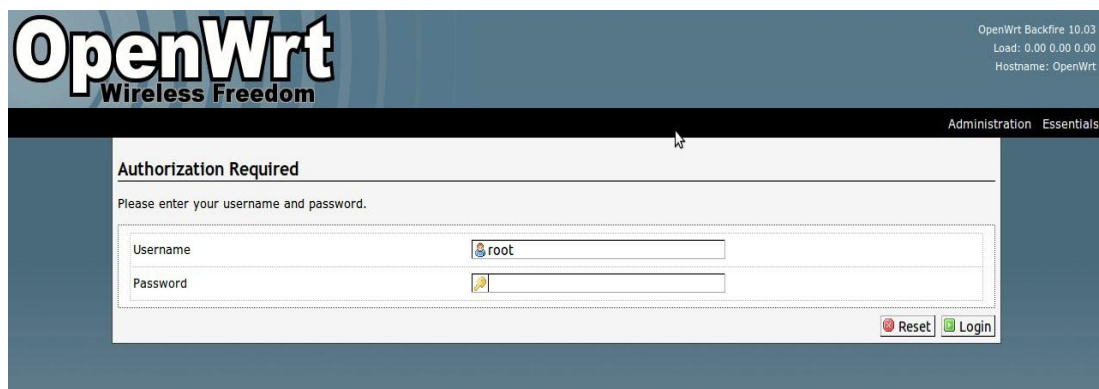


Figura 76. Interfaz de acceso a OpenWRT

Para acceder a la plataforma WEB, se debe utilizar los siguientes datos:

Usuario root

Contraseña 123456

4.2.2.1. Configuración WiFi

Las opciones de configuración de Wifi se pueden encontrar en el menú Network, submenú Wifi. La figura muestra la pantalla de configuración.

Link	ESSID	BSSID	Channel	Protocol	Mode	Encr.	Power	Scan
-	PSI-CUB	-	6		ap	none	-	-

enable

Channel: 6 (2.4 GHz)

Local Network

Network Name (ESSID): PSI-CUB

Mode: Provide (Access Point)

Encryption: No Encryption

Reset Save

Figura 77. Opciones de configuración WiFi

A continuación se describen los campos de configuración:

- Enable.- Habilita o deshabilita la interfaz Wifi. Se recomienda mantenerla activa.
- Channel .- Canal de comunicación Wifi. Definido por el usuario.
- Network name.- (ESSID) Nombre de la red. Si el modem está generando la red Wifi, asigne el nombre que crea conveniente. Si el explorador se va a conectar a una red Wifi ya existente, ingrese el nombre de esa red.
- Mode.- Se recomienda utilizar únicamente dos modos: Provide (Access Point): genera la red Wifi según el nombre asignado, Join (Client): el explorador se conecta a una red previamente existente.
- Encryption Tipo de encriptación que lleva el enlace. Actualmente funciona únicamente WEP.

Si estas operaciones fueron realizadas de manera correcta el explorador está listo para transmitir información desde su ubicación.

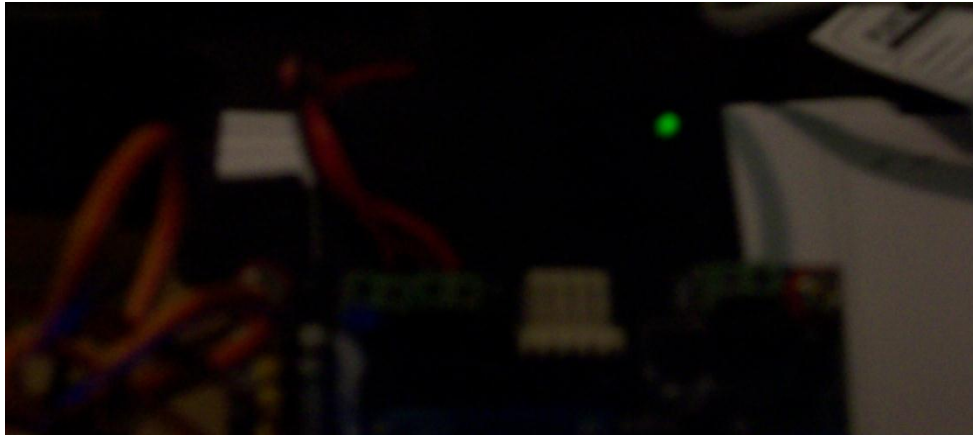


Figura 80. Indicador de transmisión del modem

4.2.3 INTERFAZ GRÁFICA ROBOT EXPLORADOR

Esta interfaz creada con la ayuda del Visual Studio, se presenta ante el operador con un entorno amigable y fácil de manejar, está compuesta por botones que servirán para controlar tanto los motores que generan movimiento así como los servos que controlan la webcam.



Figura 81. Interfaz de Usuario

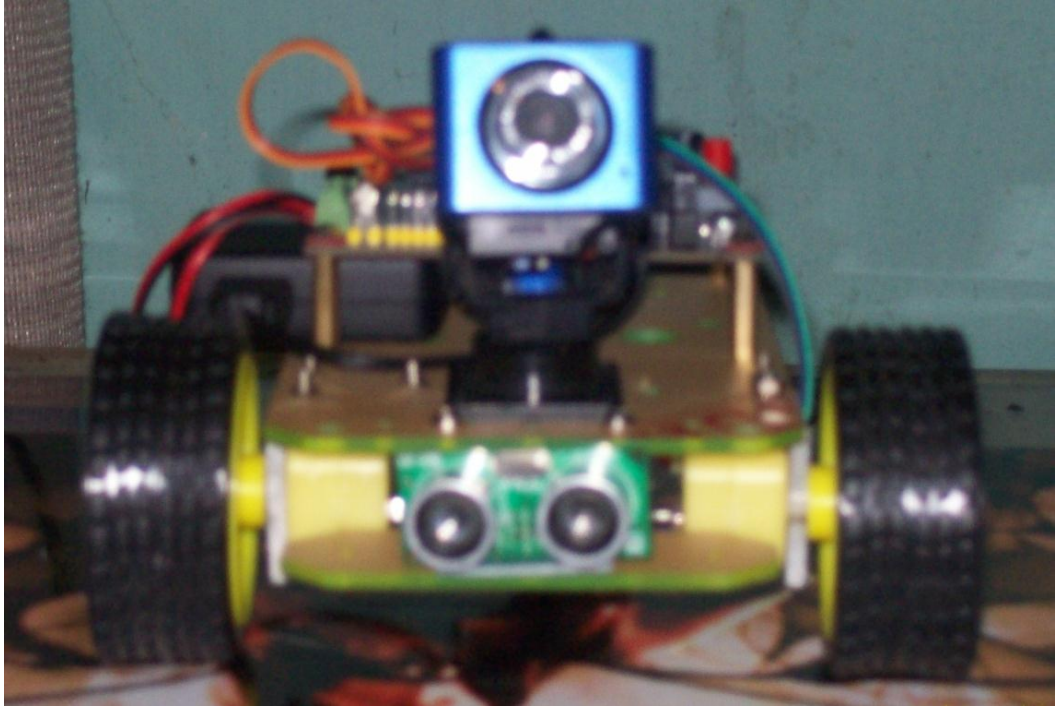


Figura 81. Vista frontal Robot explorado terminado

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizado el proceso de diseño, construcción y control de un Robot Explorador de Ductos, se puede citar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1 CONCLUSIONES

- Los robots móviles son importantes por su capacidad de desplazarse donde las personas no pueden, o donde las condiciones son inadecuadas, permitiendo la realización de tareas de alto grado de complejidad como es la exploración espacial hasta la realización de tareas rutinarias en entornos, donde la eficiencia y la movilidad de estas máquinas reemplazan directamente la presencia humana.
- La validez de los modelos desarrollados pudieron ser verificados mediante simulación.
- Las metodologías de diseño, posibilitaron la reducción de los costos en la fabricación del proyecto. Esta reducción se debió a la posibilidad de describir y verificar el funcionamiento del explorador mediante la simulación del mismo, sin necesidad de implementar un prototipo físicamente.
- El móvil tiene la capacidad de desplazarse a través del ducto registrando continuamente los valores de los sensores de posición para asegurar la estabilidad y direccionamiento del mismo.
- El cálculo de torques permitió escoger de manera apropiada los servomotores que se utilizaron en el proyecto.
- El alcance de desplazamiento del explorador dentro de un ducto está determinado por la capacidad de la transmisión wireless.

- Es importante solucionar los problemas de robot respecto al movimiento, ya que de nada serviría desarrollar las aplicaciones de este si es que el móvil presenta problemas de atascamiento o volcadura.
- La comunicación vía wireless presenta grandes ventajas respecto a otros tipos de comunicación ya que elimina el medio físico de comunicación (cable).
- Una desventaja en el uso de la comunicación WiFi, es la interferencia que se puede presentar al recibir y enviar datos.
- La cinemática del robot es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta cuando se diseña, ya que condiciona: el número y tipo de actuadores necesarios para que el robot se mueva, así como también permite diseñar el control general más o menos sencillo.
- El consumo de energía puede ser determinante en el desarrollo de algunos sistemas embebidos que necesariamente se alimentan con baterías, con lo que el tiempo de uso del SE suele ser la duración de la carga de las baterías.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe promover dentro de la carrera la realización de este tipo de proyectos, de tal manera que complementen la formación académica adquirida en las aulas durante la carrera profesional, ya que esto es de mucha importancia en el área laboral y es una experiencia invaluable.
- Es necesario mantener claras las interrelaciones de ideas entre diferentes disciplinas, para permitir un análisis más sencillo y obtener

un mejor manejo de información, teniendo siempre enfocados los puntos más importantes.

- La investigación, el análisis y el empleo de nuevas herramientas tecnológicas es fundamental ya que estas pueden facilitar el proceso de diseño, construcción y control en el proceso de proyectos similares, validando su funcionamiento.
- El empleo de simulaciones computarizadas es muy importante ya que permiten evaluar el desempeño del diseño antes de iniciar su construcción, y con ello evita la pérdida de tiempo y el mal empleo de materiales no necesarios.
- En el caso de ensamble y control de robots de pequeñas dimensiones como el Explorador, el uso de servomotores es factible siempre que se haya hecho un estudio de las capacidades máximas a las que estarán sometidos estos actuadores.
- Se debe realizar un estudio de los materiales y dispositivos electrónicos disponibles en el mercado ecuatoriano, ya que en algunos casos dispositivos que colaborarían con la simplificación del proyecto no son fáciles de adquirir.
- Para iniciar el proceso de diseño y construcción del proyecto se debe tomar muy en cuenta el nivel de complejidad que requiere así como también los costos y el tiempo que debe ser invertido para tener una mejor planificación y culminar con su presentación dentro del tiempo propuesto.
- En cuanto al funcionamiento del explorador, el operador debe tomar en cuenta el voltaje que emite la fuente de alimentación, ya que si

esta cae por debajo de los 5V, no se garantiza el correcto funcionamiento del robot móvil.

- Se recomienda que las baterías, se encuentren 100% cargadas debido a que, de no estarlo, se podrían tener problemas y fallos en el funcionamiento de los motores lo que ocasionaría problemas en la trayectoria.

BIBLIOGRAFÍA

- Areny, R. (2003). *Sensores y Acondicionadores de Señal*. España: Marcombo S.A.
- Bahram, A. (2002). *Induction Motors: Analysis and Torque Control*. España: Springer.
- Barrientos, A., Peñín L. (2007). *Fundamentos de Robótica*. España: Rispergraf.
- Basurto, P., Marco, A., Cela, E. José, M. (2000). *Introducción a la Programación en C*. España: Edicions UPC.
- Baturone, A. (2001). *Robótica Manipuladores y Robots Móviles*. España: Marcombo.
- Bolton, W. (2006). *Mecatrónica*, Alfaomega.
- Breijo, E. (2009). *Compilador C CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC*. España: Marcombo.
- Chapman, S. (2005). *Máquinas Eléctricas*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Comité Español de Automática. (2009). *Tipos de Robots*. España.
- Didact, S., L. (2005). *Manual de Programación Lenguaje C++*. España: MAD, S.L.
- Ferraté, G., Armat, J. (1988). *Robótica Industrial*. Barcelona: Marcombo S.A.

- Gannse, J. (2008). *El Arte de Diseñar Sistemas Embebidos*. Estados Unidos: Newnes.
- Martínez, B., Joan, J. (2000). *Mecánica Newtoniana*. España: Edicions UPC.
- Mikell, P., Groover (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas*. México: PEARSON.
- Muhammad, R. (2004). *Electrónica de Potencia*. México: PEARSON.
- Onaindía, R., Eva, García, G., Fernando, Alonso, J., Pedro (1998). *Diseño e Implementación de Programas en Lenguaje C*. España: REPROVAL S.L.
- Rodríguez, S., Jesús, J. (2003). *Introducción a la Programación, Teoría y Práctica*. España: Club Universitario.
- Sanchis, E.(2002). *Sistemas Electrónicos Digitales: Fundamentos y Diseño de Aplicaciones*. España: GUADA Litografía S.L.
- Somolinos, S., José, A. (2002). *Avances en Robótica y Visión por Computador*. España: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Stair, M., Ralph, Reynolds, W., George. (2000). *Principios de Sistemas de Información*. México: International Thomson Editors.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: PEARSON.

- Zabala, G. (2009). Robótica, Guía, Teoría y Práctica. Argentina: Sevagraf.
- Actuadores Neumáticos e Hidráulicos (2004). *Actuadores*. Recuperado el 12 de junio, 2012, <http://www.industriastransval.com.ar/>
- Componentes de Sistemas Embebidos (2011). *Sistemas Embebidos*. Recuperado el 2 de marzo 2013 de <http://electronica-embebida.blogspot.com/2011/06/que-es-un-sistema-embebido-o-como.html>
- Comunicación GSM (2002). *Tipos de Comunicación*. Recuperado 24 de enero, 2013, <http://www.microcaos.com/servicios.php>
- Comunicación WiFi (2009). *WiFi*. Recuperado el 17 de junio 2012. <http://tecnologiapor1000.blogspot.com/2013/04/como-rayos-funciona-el-wifi.html>
- Funcionamiento interno de un servomotor (2006). *Servomotores*. Recuperado el 15 de junio de 2012. <http://www.pickey.es/uso-practico-del-pic12f675--iv-.html>
- Motor DC (2004). *Tipos de Motores*. Recuperado el 12 de junio, 2012, <http://www.unocrom.com>
- Motor DC vs Motor AC (2004). *Tipos de Motores*. Recuperado el 12 de junio 2012. <http://www.unocrom.com>
- Motor Paso a Paso con reductor (2003). *Catálogo*. Recuperado el 15 de junio 2012. <http://www.abina.com/SubCategorias.aspx>

- Orientación de un servomotor (2003). *Servomotores*. Recuperado el 15 de junio de 2012. <http://www.pickey.es/uso-practico-del-pic12f675--iv-.html>
- Terminales de conexión (2003). *Servomotores*. Recuperado el 15 de junio 2012. <http://www.pickey.es/uso-practico-del-675--iv-.html>

ANEXOS

ANEXO 1. Datasheet Dispositivos Electrónicos

Ultrasonic Sonar Module

Hardware Manual Rev 1r0



US-100 compact ultrasonic sonar module is a low cost solution for circuit applications that requires distance measurements from an object, such as walls, furniture, and even pets. User circuit initiates a measurement by driving the US-100 trigger input to logic HIGH. The US-100, in response, will send a short bursts of ultrasonic sound wave, and then outputs a pulse as soon as a returning echo is detected. The user circuit resolves the distance by measuring the pulse width of the output pulse. Distances up to 4.5 meters from the sensor can be measured, with resolving resolution depending mainly on the user circuit.

Features:

- Technology: 40kHz Ultrasonic Sonar
- Sensor Range: 2cm- 350cm (Temperature Compensated)
- Power Input: 3V-5VDC @ 3.5mA Typ
- Trigger Input : TTL
- Echo Output: TTL
- PCB Size: 20x45mm

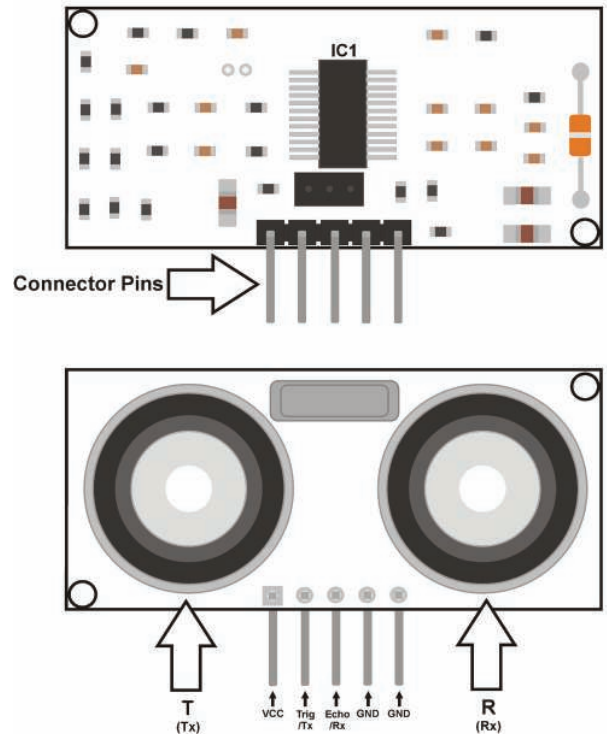


Figure 1. Ultrasonic Sonar illustration showing its major Components.

Important: JP1 is normally OPEN (uninstalled).

Table 1. Ultrasonic Distance Sensor Pin Assignments and Descriptions.

Pin No.	ID	Description
1	VCC	5V Power Input
2	Trig	Trigger Input active HIGH
3	Echo	Pulse output
4	GND	ground
5	GND	ground

NOTE: The OEM manufacturer of the US-100 sonar module, for unknown reason, will not provide us a user manual or any other information for that matter. Hence, all information contained in this document were obtained by actual measurements and experimentation.

TIMING DIAGRAM

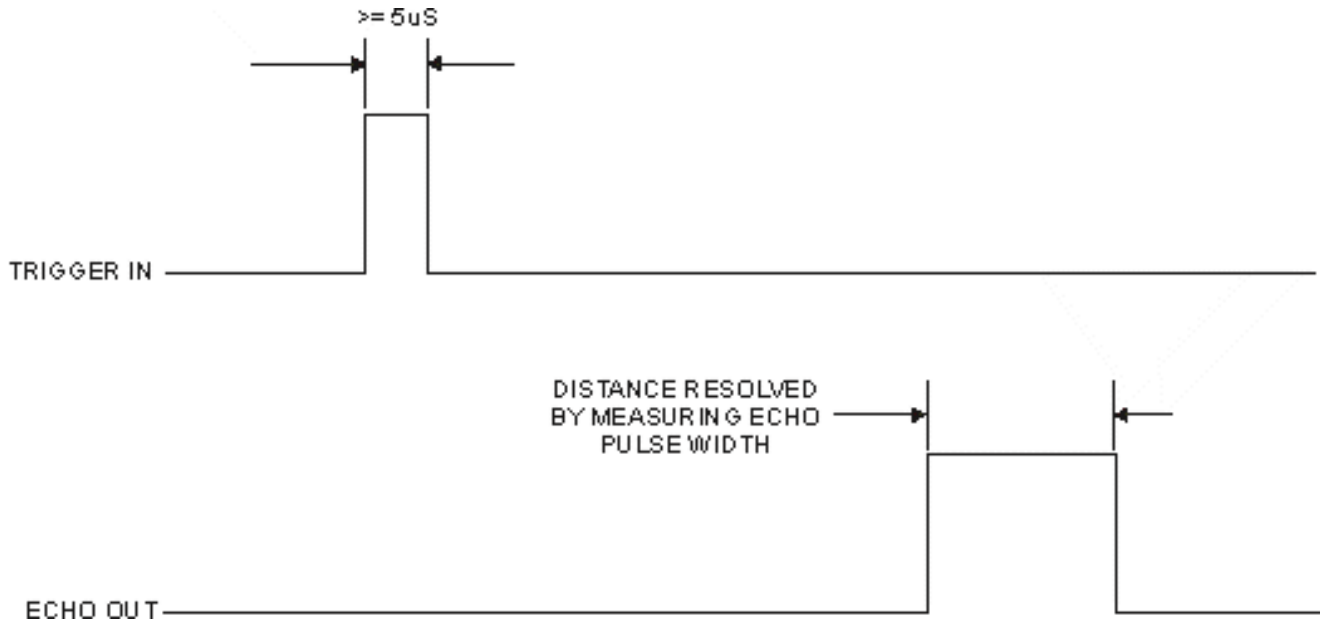


Figure 2. US-100 Timing Diagram. Distance measurement is initiated by sensing a pulse to the trigger input. The US-100 will respond with a pulse with a duration corresponding to the round trip echo time.

RESOLVING DISTANCE

As the timing diagram shown in figure 2 illustrates, distance measurement is initiated by activating the trigger input with a pulse. The US-100 will respond with an echo output pulse. The echo response pulse width corresponds to the time it takes for the ultrasonic sound to travel from the sensor to the object and back. Hence the distance from the object can be computed by:

$$\text{Distance} = \text{Pulse Width} * \text{Speed of Sound} / 2$$

A pulse width value greater than 60mS indicates an out of range condition.

The actual speed of sound depends on several environmental factors, with temperature having the most pronounced effect. The speed of sound in dry air is determined approximately by:

$$V = 331.4 + 0.6T \text{ m/s}$$

But one of the features of US-100 is its built-in temperature compensation. Hence, with temperature effect out of the equation, the distance formula is

reduced to:

$$\text{Distance} = \text{PulseWidth} * 165.7 \text{ meters}$$

Where: PulseWidth in seconds

DETECTION WINDOW CONSIDERATIONS

The US-100 has a detection pattern that spreads out from the sensor mouth at >15 degrees angle. One obvious and probably undesirable effect of this characteristic is the sensor will have an effective larger detection window the further away the object of interest is from the sensor. This will allow the sensor to “see” more objects, hence, will be increasingly distracted by other nearby objects, making it more prone to error.

Long distance detection requires the target object cross section be large enough for accurate and reliable detection.

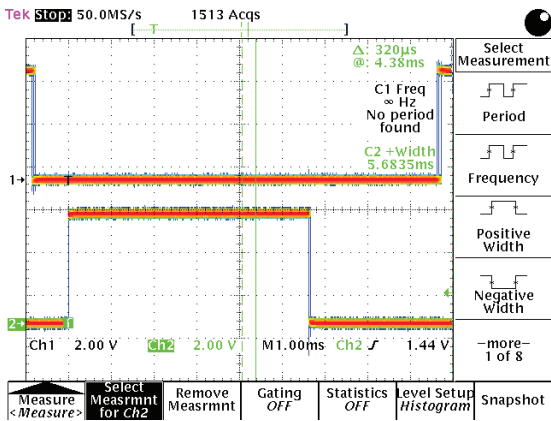


Figure 3. US-100 echo output (lower trace) reports a 5.68ms pulse width when a test object is position about a meter from the sensor. Converting this to equivalent distance yields a value of 0.94m.

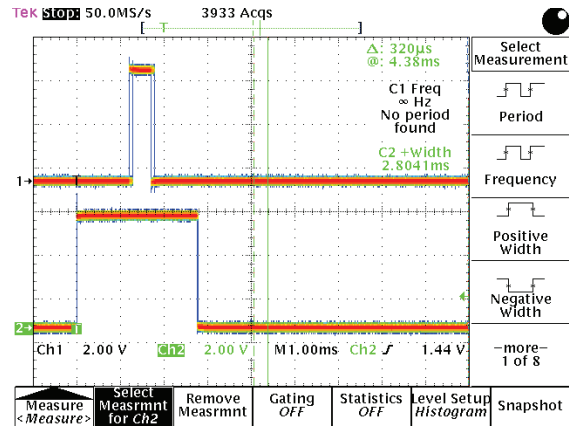


Figure 4. With the test object moved closer to about half a meter, the pulse width as outputted by US-100 is correspondingly reduced in half (2.8ms).

APPLICATION HINTS

The US-100 will work with power supply voltages 3V to 5VDC. For best logic level matching, use the same Vdd source the host controller is using. Lower supply voltage may result in a reduction in distance detection range.

The US-100 requires only two I/O port to interface with a host controller. As shown in Fig. 5, the host controller must be assigned one output port to drive the US-100 trigger input, and one input port to read and measure the echo pulse width output.

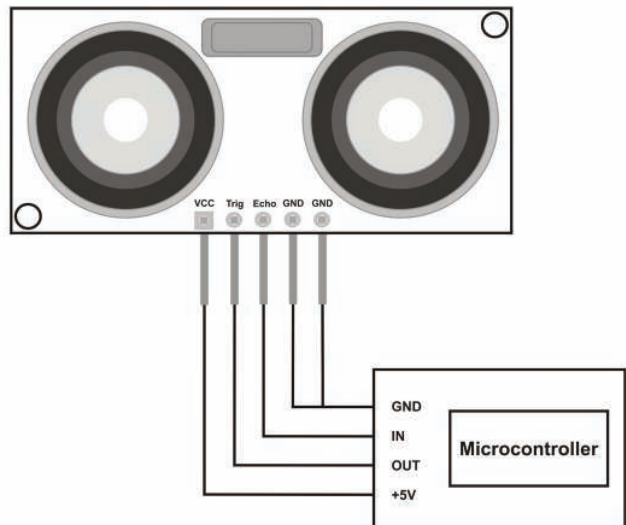


Figure 5. US-100 to host controller wiring example.

gizduino Wiring and Demo Code

```
// Demo sketch
// This sketch will output distance info via the UART port

// port assignment
// change as may be necessary
const int trigger=6;
const int echo=7;
float distance;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigger,OUTPUT);
  pinMode(echo,INPUT);
}

void loop(){

// Trigger US-100 to start measurement
// Set up trigger
digitalWrite(trigger,LOW);
delayMicroseconds(5);
// Start Measurement
digitalWrite(trigger,HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigger,LOW);
// Acquire and convert to mtrs
distance=pulseIn(echo,HIGH);
distance=distance*0.0001657;
// send result to UART
Serial.println(distance);
delay(50);
}
```

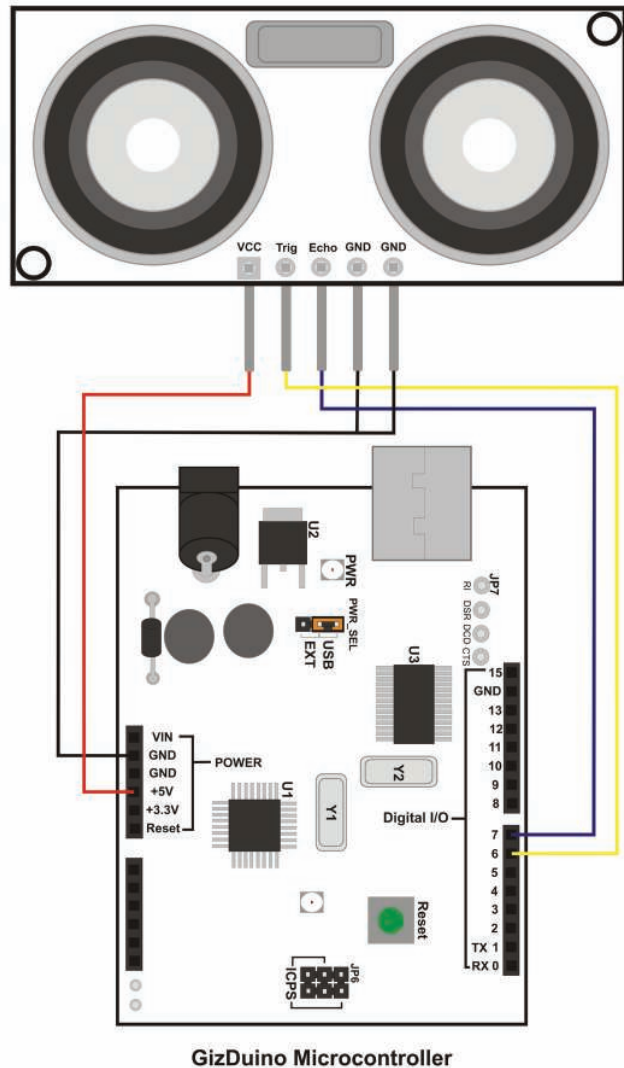
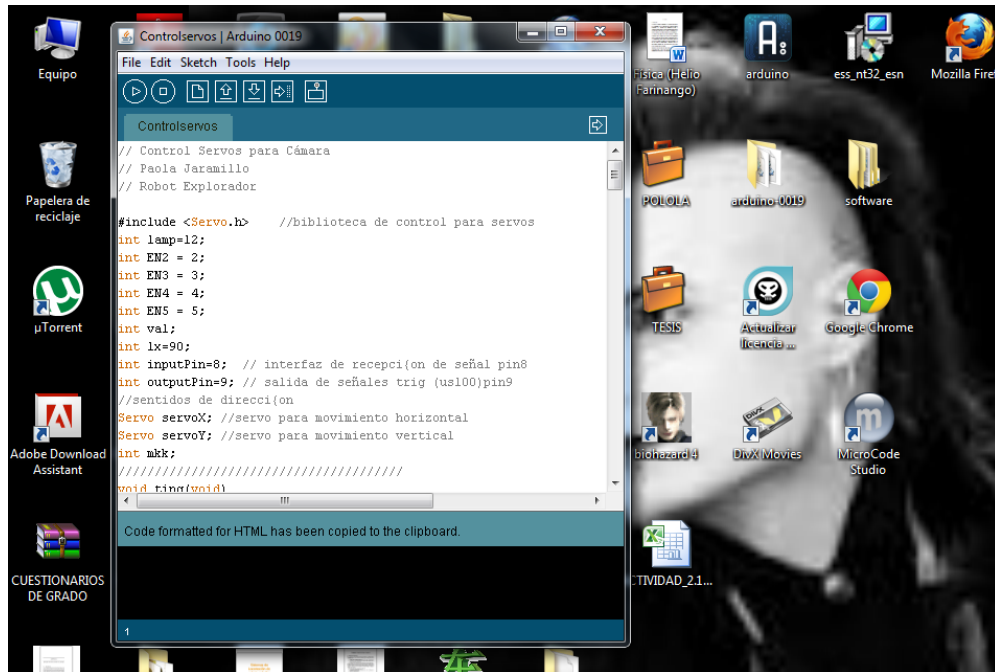


Figure 6. US-100 Ultrasonic Sonar Connected to a giz-Duino Microcontroller kit. In this example, the trigger and echo pins are connected to port 6 and 7 respectively. You can change the connection and use other ports instead.

ANEXO 2. Código de Programación



Programación en C

// Control Servos para Cámara

// Paola Jaramillo

// Robot Explorador

```
#include <Servo.h> //biblioteca de control para servos
```

```
int lamp=12;
```

```
int EN2 = 2;
```

```
int EN3 = 3;
```

```
int EN4 = 4;
```

```
int EN5 = 5;
```

```
int val;
```

```
int lx=90;
```

```
int inputPin=8; // interfaz de recepci{on de señal pin8
```

```
int outputPin=9; // salida de señales trig (us100)pin9
```

```
//sentidos de direcci{on
```

```
Servo servoX; //servo para movimiento horizontal
```

```
Servo servoY; //servo para movimiento vertical
```

```
int mkk;
```

```
//////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
void ting(void)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(EN2,LOW);
```

```
    digitalWrite(EN3,LOW);
```

```
    digitalWrite(EN4,LOW);
```

```
    digitalWrite(EN5,LOW);
```

```

    }

void qian(void)
{
    digitalWrite(EN2,LOW);
    digitalWrite(EN3,HIGH);
    digitalWrite(EN4,LOW);
    digitalWrite(EN5,HIGH);
}

void hou(void)
{
    digitalWrite(EN2,HIGH);
    digitalWrite(EN3,LOW);
    digitalWrite(EN4,HIGH);
    digitalWrite(EN5,LOW);
}

void zuo(void)
{
    digitalWrite(EN2,LOW);
    digitalWrite(EN3,HIGH);
    digitalWrite(EN4,HIGH);
    digitalWrite(EN5,LOW);
}

void you(void)
{
    digitalWrite(EN2,HIGH);
    digitalWrite(EN3,LOW);
    digitalWrite(EN4,LOW);
    digitalWrite(EN5,HIGH);
}

}

//movimiento a la izquierda
void servo_left()
{
    int servotemp=servoX.read();//leer valor actual del ángulo
    servotemp-=2;//mover el servo 1 grado
    if(servotemp<170&&servotemp>10) //ángulo de rotación entre 10 y 170grados
    servoX.write(servotemp);
    else if (servotemp<=10) servoX.write(10);
    else servoX.write(170);
}

//movimiento a la derecha
// para todos los movimiento se cumple igual al primero
void servo_right()
{
    int servotemp=servoX.read();//leer ángulo

```

```

servotemp+=2;// mover el servo 1 grado
if(servotemp<170&&servotemp>10)//entre 10 y 170grados
servoX.write(servotemp);
else if (servotemp<=10) servoX.write(10);
else servoX.write(170);
}

//mover arriba
void servo_up()
{
int servotemp1=servoY.read();
servotemp1+=2;
if(servotemp1<170&&servotemp1>10)
servoY.write(servotemp1);
else if (servotemp1<=10) servoY.write(10);
else servoY.write(170);
}

//mover abajo
void servo_down()
{
int servotemp1=servoY.read();//obtener valor actual del ángulo de dirección servotemp1-=2;
if(servotemp1<170&&servotemp1>10)//ángulo entre 10 y 170 grados
servoY.write(servotemp1);
else if (servotemp1<=10) servoY.write(10);
else servoY.write(170);
}
void chaosheng()
{
digitalWrite(outputPin, LOW); // interfaz de la seña ultras{onica (us100)
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(outputPin, HIGH); // señal emitida 10us
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(outputPin, LOW);
mkk = pulseIn(inputPin, HIGH); // leer pulso de salida
mkk = mkk/58; // distancia (cm)
}
void setup()
{
delay(35000);//retardo de 35s para evitar interferencia
Serial.begin(9600);//velocidad de trasmisi{on 9600baudios
servoX.attach(10);
servoY.attach(11);
servoX.write(90);//posición inicial 90 grados
servoY.write(90);//posicion inicial 90 grados
pinMode(lamp,OUTPUT);

```



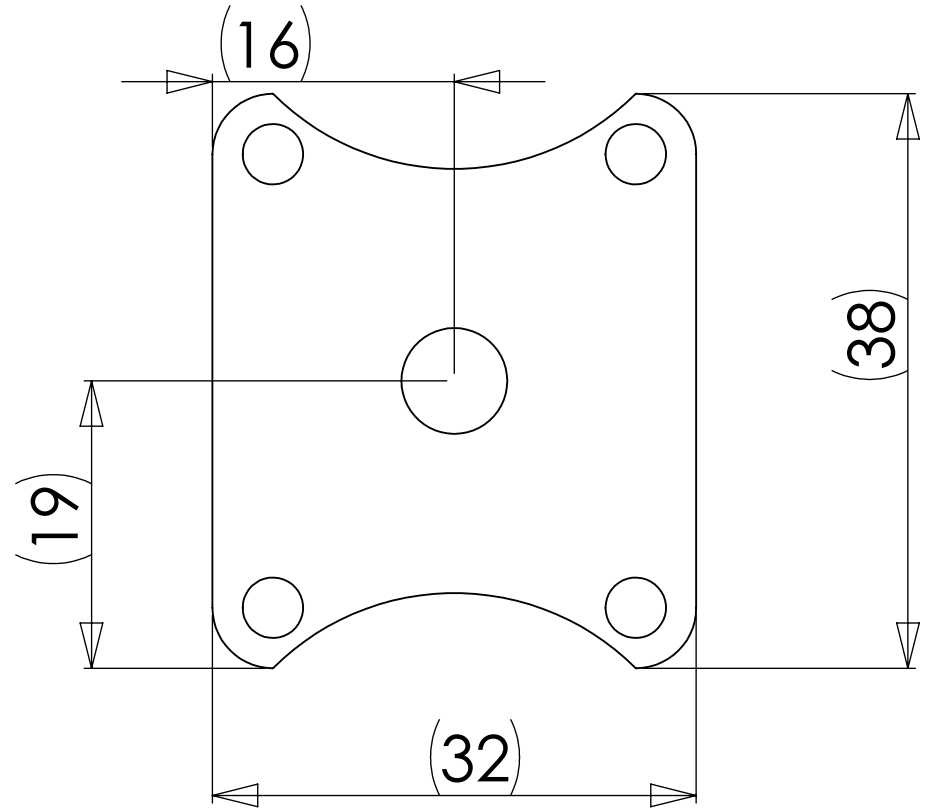
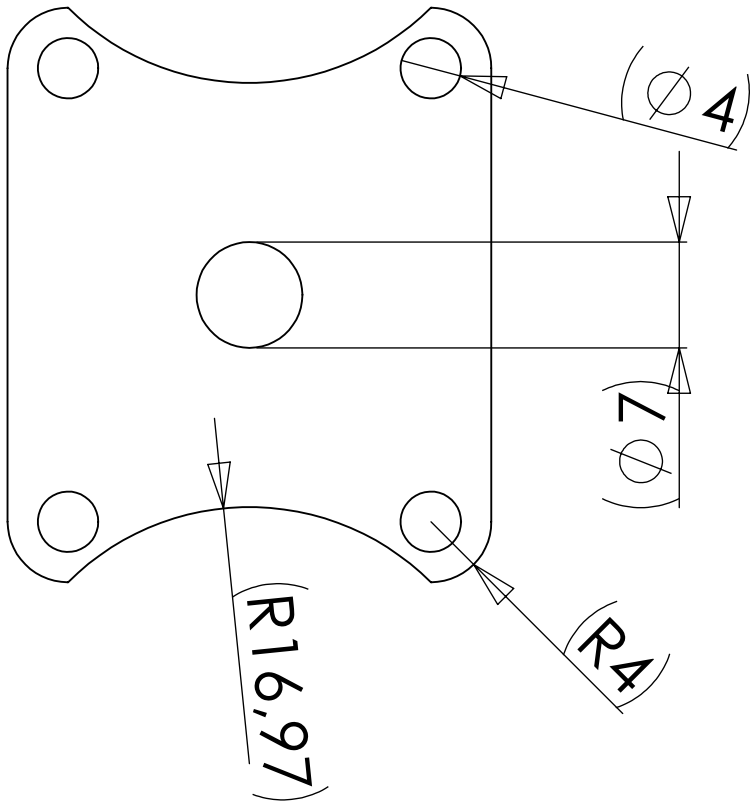
```
pinMode(EN2,OUTPUT);
pinMode(EN3,OUTPUT);
pinMode(EN4,OUTPUT);
pinMode(EN5,OUTPUT);
pinMode(inputPin, INPUT);
pinMode(outputPin, OUTPUT);
}
```

```
void loop()
{
  int val;
  chaosheng();
  val=mkk;
  if(val<=5)
  {
    hou();
    delay(200);
    ting();
    val=0;
  }
  if (Serial.available())
  { val = Serial.read();
  switch(val)
  {
    case 'a':
      servoX.write(lx);
      qian();
      break;
    case 'b':
      hou();
      break;
    case 'c':
      zuo();
      break;
    case 'd':
      you();
      break;
    case 'e':
      ting();
      break;
    case 'j':
      servo_left();
      break;
    case 'l':
      servo_right();
      break;
    case 'k':
```

```
servo_up();  
break;  
case 'i':  
servo_down();  
break;  
case 'n':  
digitalWrite(lamp,HIGH);  
break;  
case 'm':  
digitalWrite(lamp,LOW);  
break;  
}  
}  
}
```

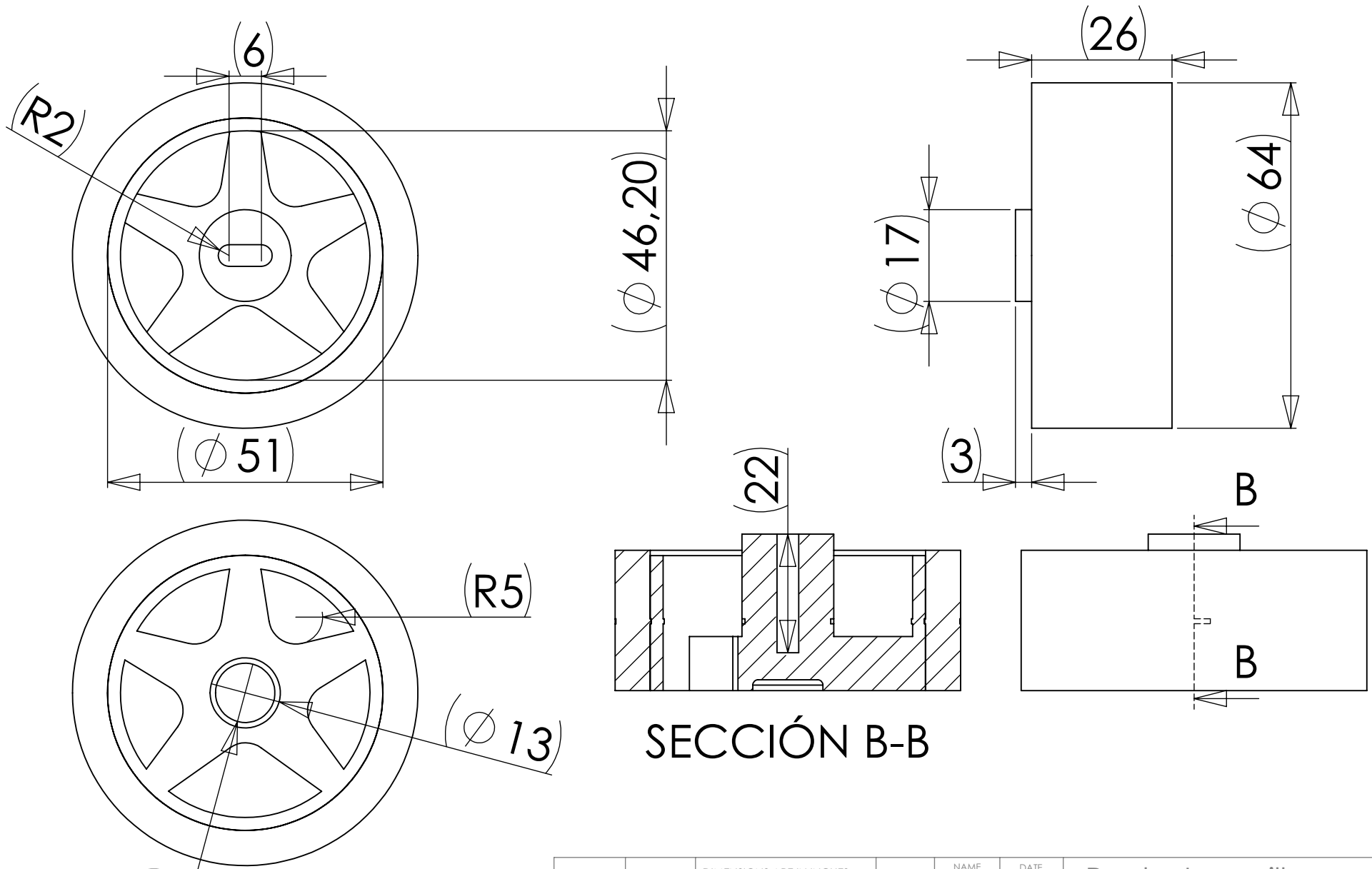
ANEXO 3. Planos Robot Explorador de Ductos

BIBLIOGRAFÍA



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

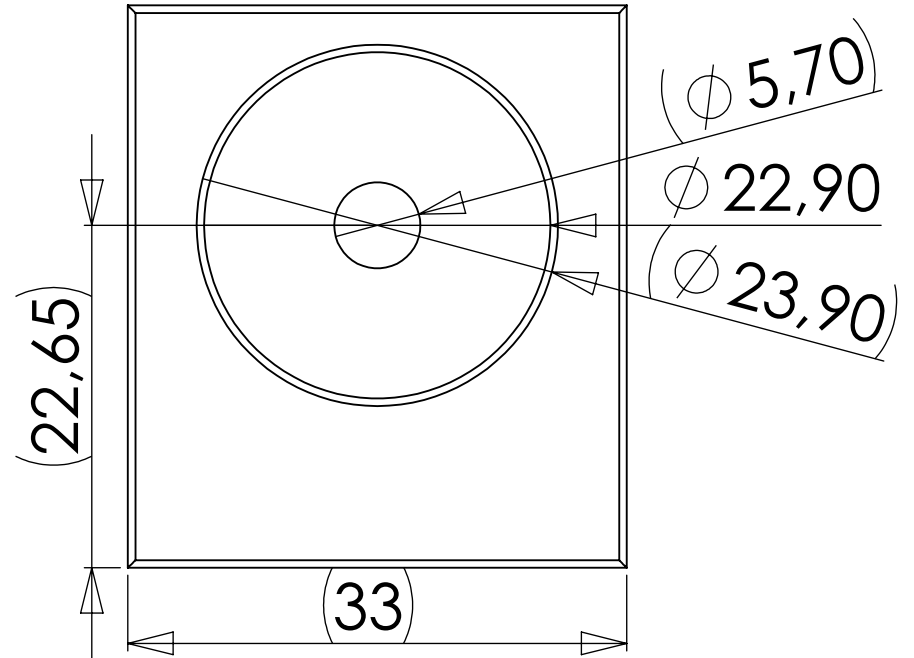
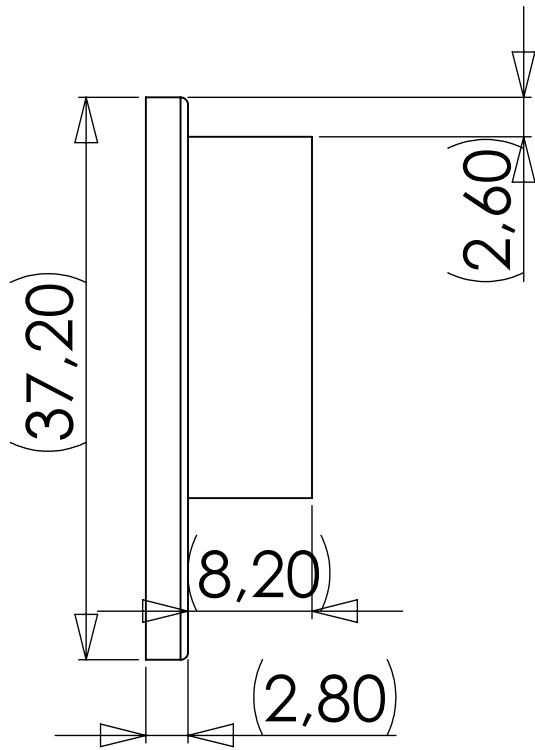
		DIMENSIONS ARE IN INCHES		NAME		DATE		
		TOLERANCES:		DRAWN				
		FRACTIONAL ±		CHECKED				
		ANGULAR: MACH ± BEND ±		ENG APPR.				
		TWO PLACE DECIMAL ±		MFG APPR.				
		THREE PLACE DECIMAL ±		Q.A.				
		MATERIAL --		COMMENTS:				
		FINISH --						
NEXT ASSY	USED ON	APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING		Paola Jaramillo		
						SIZE A	DWG. NO.	REV.
						SCALE:2:1	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1



SECCIÓN B-B

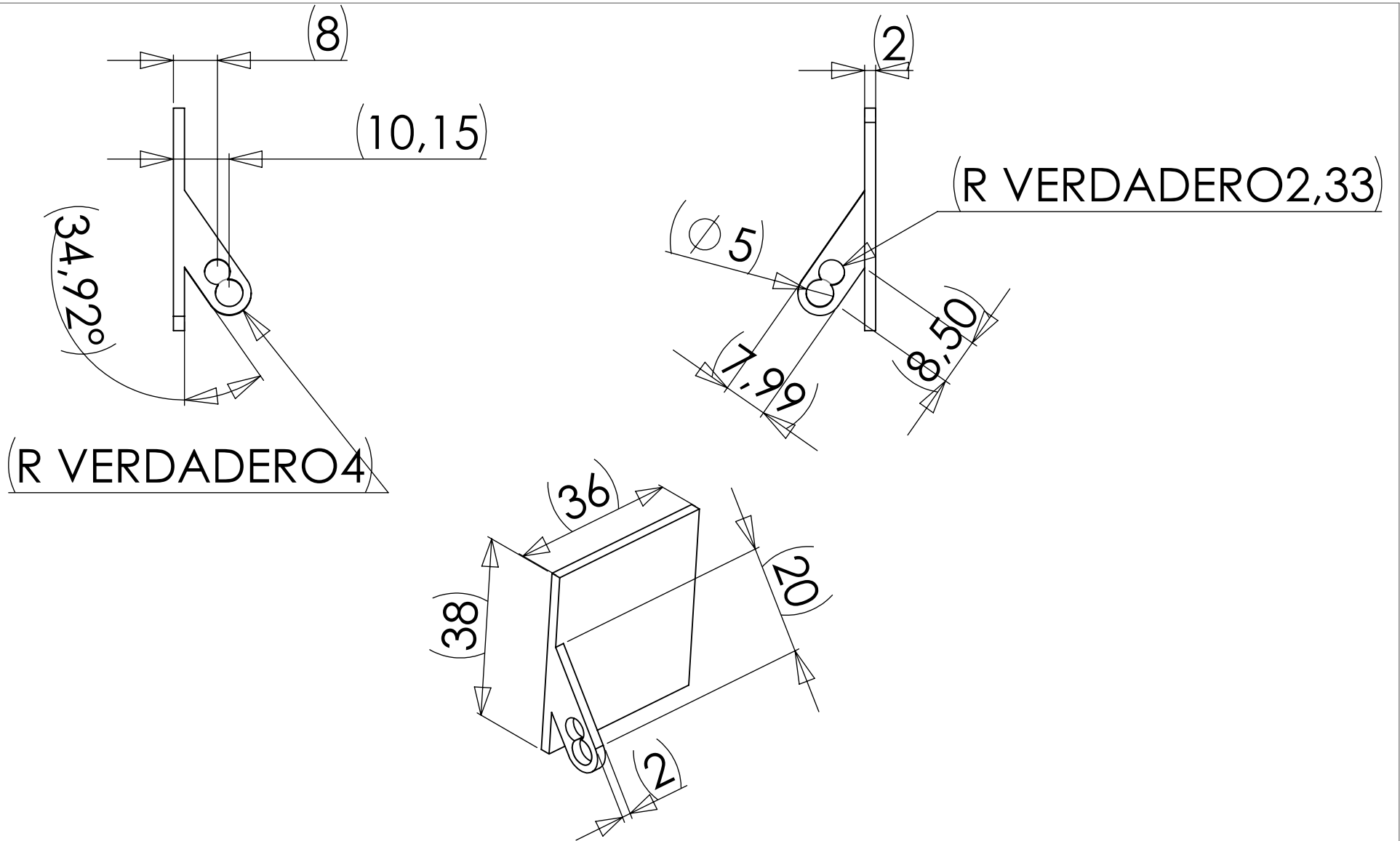
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES: FRACTIONAL ± ANGULAR: MACH ± BEND ± TWO PLACE DECIMAL ± THREE PLACE DECIMAL ±		NAME	DATE	Paola Jaramillo	
		MATERIAL --		DRAWN			
		FINISH --		CHECKED			
NEXT ASSY	USED ON			ENG APPR.			
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING		MFG APPR.			
				Q.A.			
				COMMENTS:		REV.	
				SIZE	DWG. NO.		
				SCALE:1:1	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1	



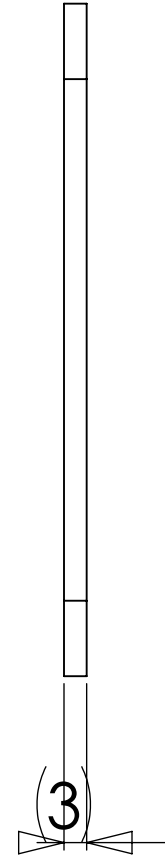
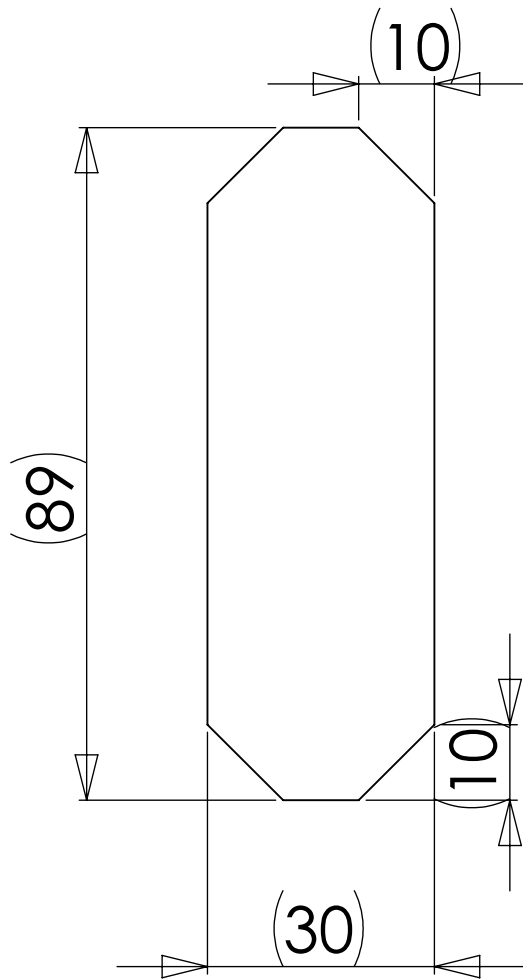
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		DIMENSIONS ARE IN INCHES		NAME		DATE		Paola Jaramillo	
		TOLERANCES:		DRAWN					
		FRACTIONAL ±		CHECKED					
		ANGULAR: MACH ± BEND ±		ENG APPR.					
		TWO PLACE DECIMAL ±		MFG APPR.					
		THREE PLACE DECIMAL ±		Q.A.					
		MATERIAL --		COMMENTS:					
		FINISH --							
NEXT ASSY	USED ON								
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING							
				SCALE: 2:1		WEIGHT:		SHEET 1 OF 1	



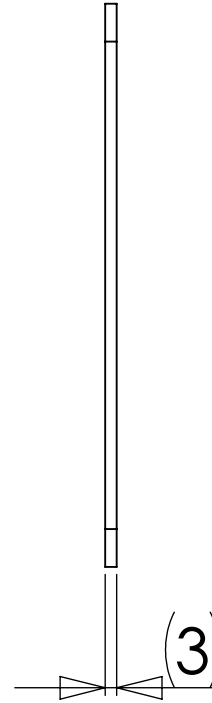
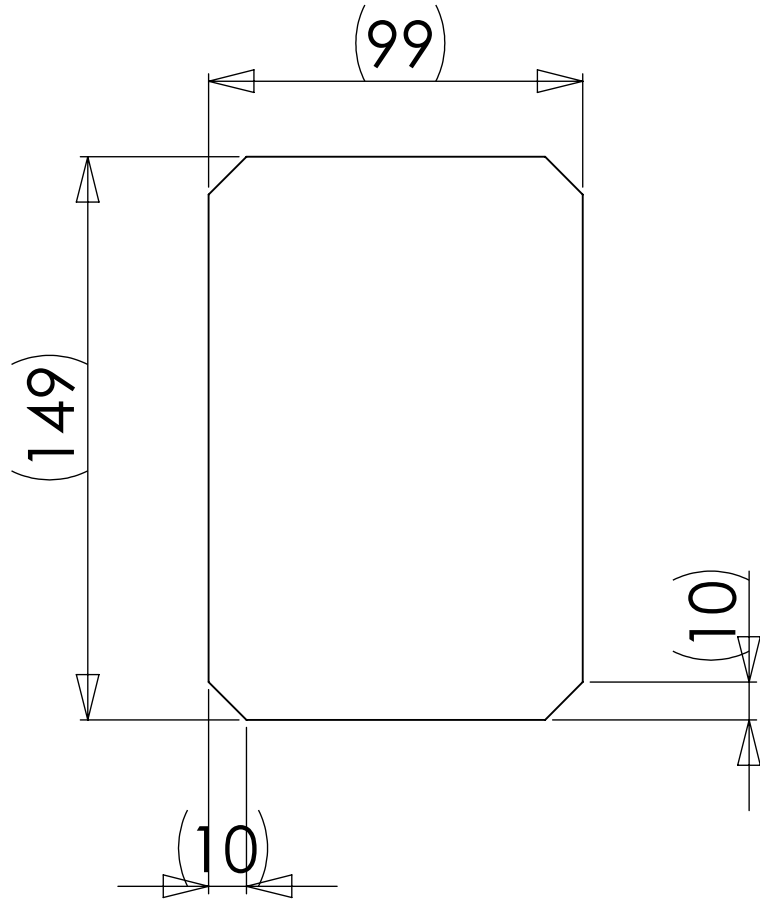
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		DIMENSIONS ARE IN INCHES		NAME		DATE		Paola Jaramillo	
		TOLERANCES:		DRAWN					
		FRACTIONAL ±		CHECKED					
		ANGULAR: MACH ± BEND ±		ENG APPR.					
		TWO PLACE DECIMAL ±		MFG APPR.					
		THREE PLACE DECIMAL ±		Q.A.					
		MATERIAL --		COMMENTS:					
NEXT ASSY		USED ON		FINISH --					
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING							
				SIZE		DWG. NO.		REV.	
				A					
				SCALE:1:1		WEIGHT:		SHEET 1 OF 1	



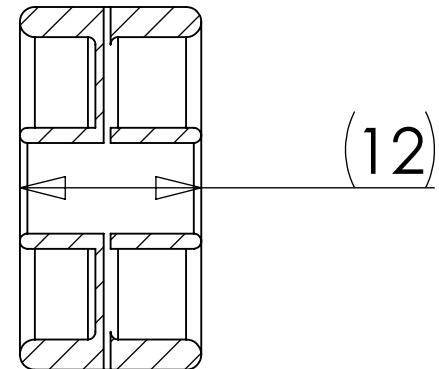
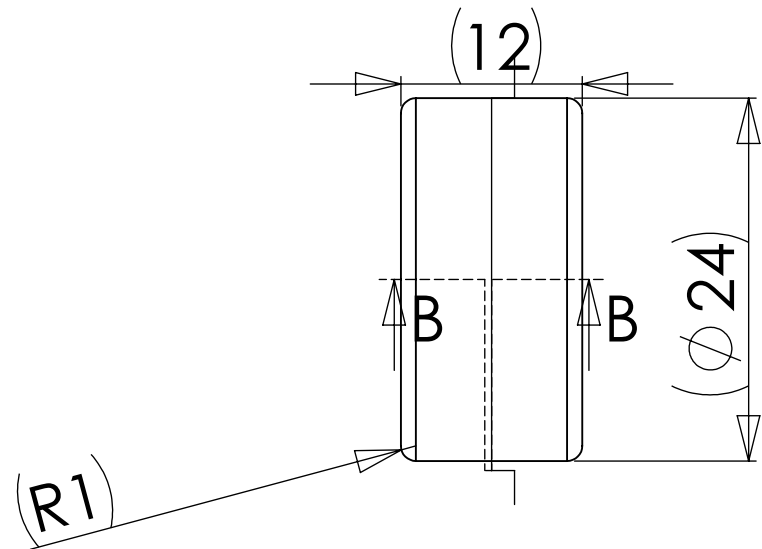
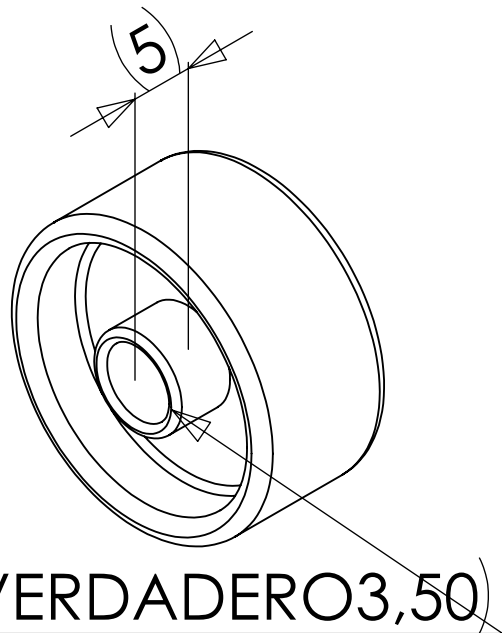
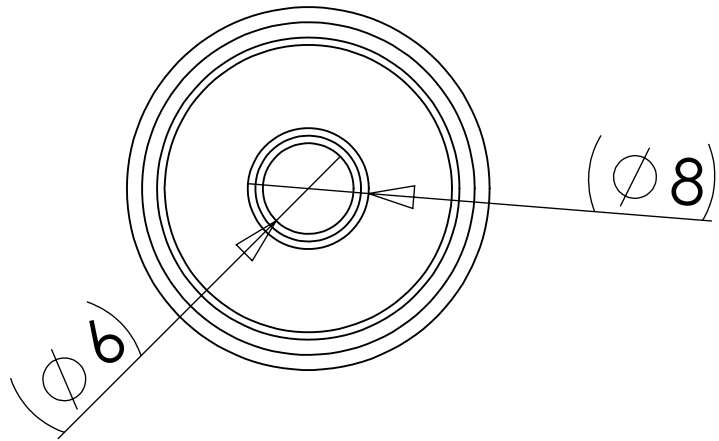
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		DIMENSIONS ARE IN INCHES		NAME		DATE		Paola Jaramillo	
		TOLERANCES:		DRAWN					
		FRACTIONAL ±		CHECKED					
		ANGULAR: MACH ± BEND ±		ENG APPR.					
		TWO PLACE DECIMAL ±		MFG APPR.					
		THREE PLACE DECIMAL ±		Q.A.					
		MATERIAL --		COMMENTS:					
NEXT ASSY		USED ON							
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING		SIZE A		DWG. NO.			REV.
				SCALE:1:1		WEIGHT:		SHEET 1 OF 1	



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

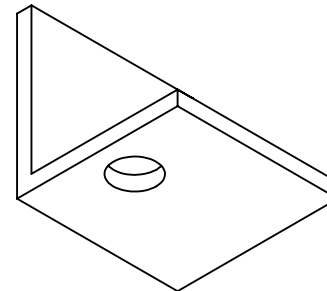
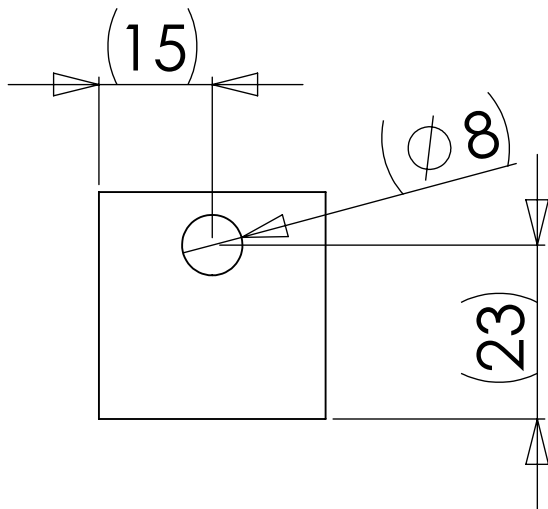
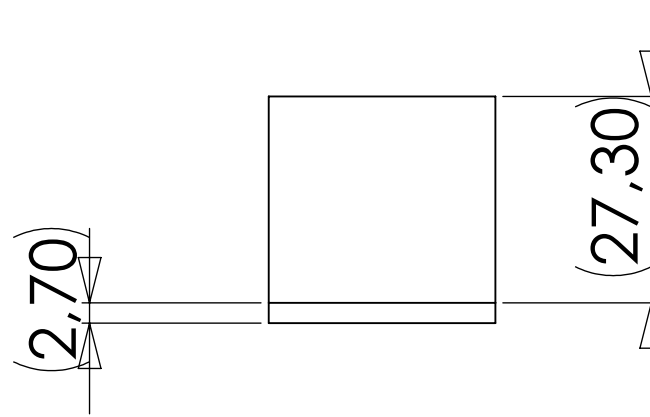
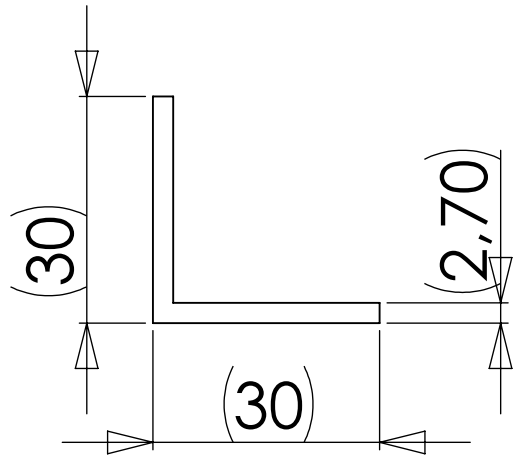
		DIMENSIONS ARE IN INCHES		NAME	DATE	Paola Jaramillo
		TOLERANCES:		DRAWN		
		FRACTIONAL ±		CHECKED		
		ANGULAR: MACH ± BEND ±		ENG APPR.		
		TWO PLACE DECIMAL ±		MFG APPR.		
		THREE PLACE DECIMAL ±		Q.A.		
		MATERIAL --		COMMENTS:		SIZE A DWG. NO. REV. SCALE:1:2 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
NEXT ASSY	USED ON	FINISH --				
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING				



SECCIÓN B-B

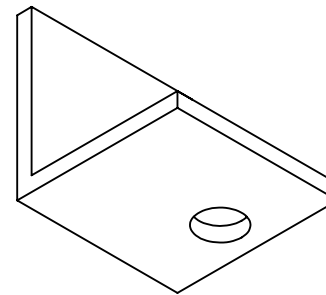
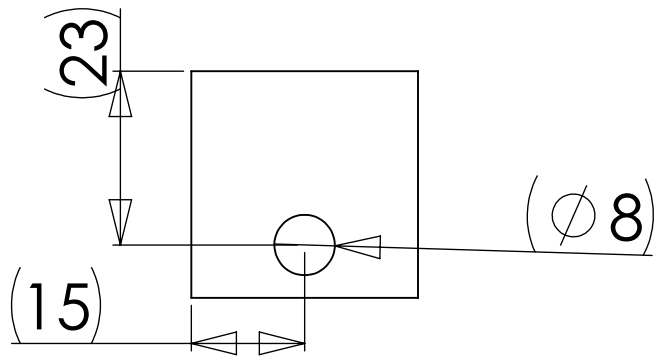
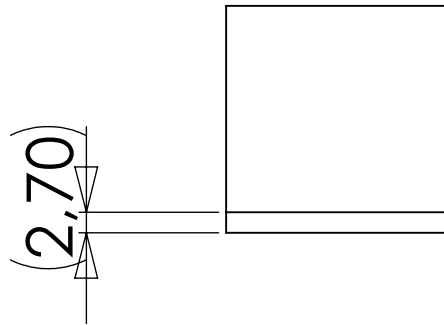
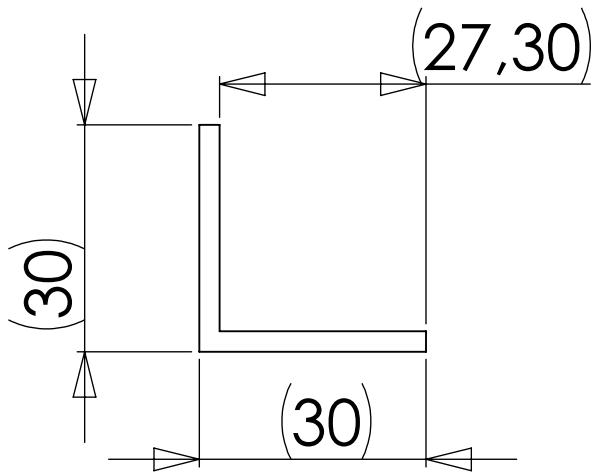
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		DIMENSIONS ARE IN INCHES		NAME		DATE		Paola Jaramillo	
		TOLERANCES:		DRAWN					
		FRACTIONAL ±		CHECKED					
		ANGULAR: MACH ± BEND ±		ENG APPR.					
		TWO PLACE DECIMAL ±		MFG APPR.					
		THREE PLACE DECIMAL ±		Q.A.					
		MATERIAL --		COMMENTS:					
NEXT ASSY	USED ON	FINISH --							
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING							
				SIZE		DWG. NO.		REV.	
				A					
				SCALE:2:1		WEIGHT:		SHEET 1 OF 1	



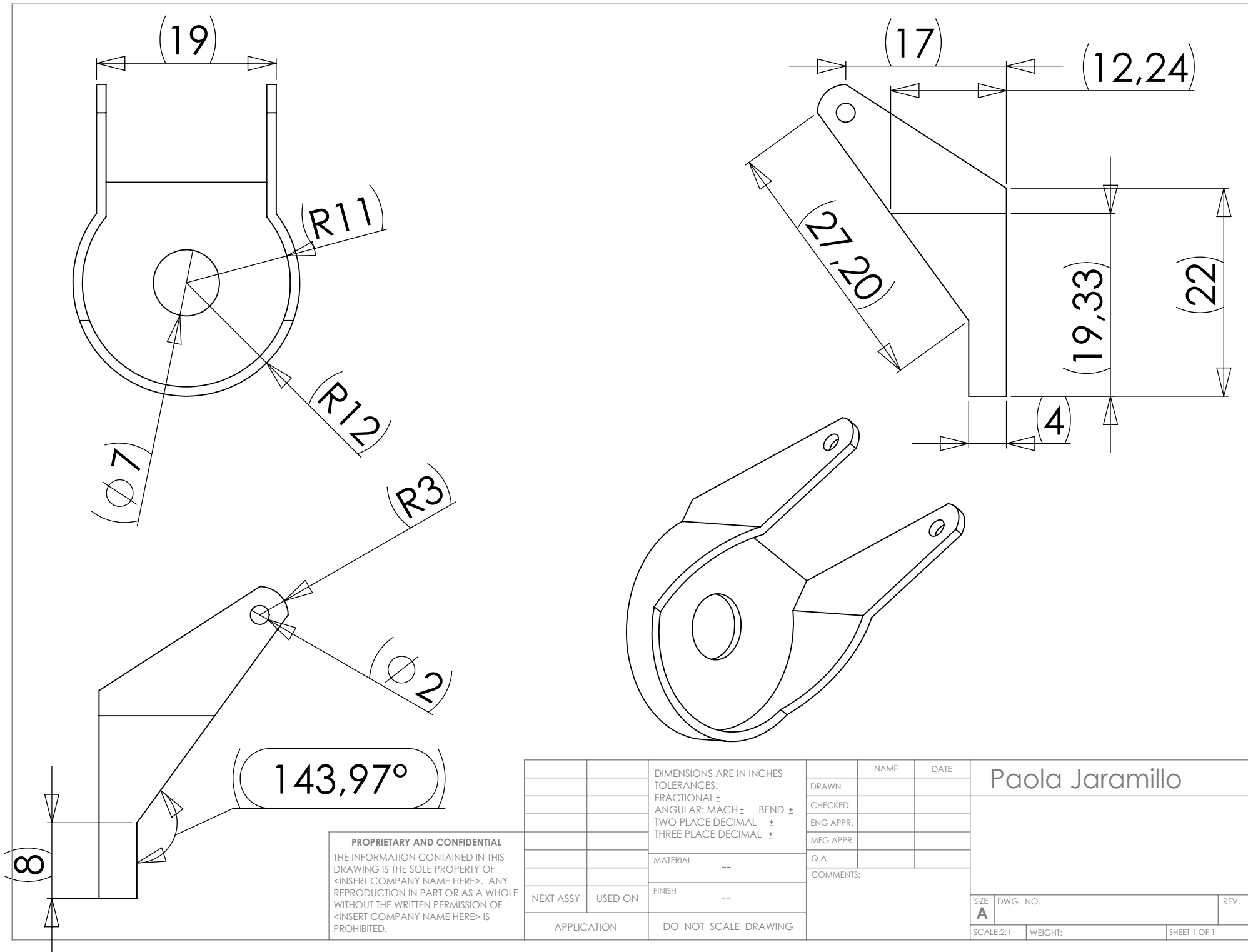
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		DIMENSIONS ARE IN INCHES		NAME	DATE	Paola Jaramillo
		TOLERANCES:		DRAWN		
		FRACTIONAL ±		CHECKED		
		ANGULAR: MACH ± BEND ±		ENG APPR.		
		TWO PLACE DECIMAL ±		MFG APPR.		
		THREE PLACE DECIMAL ±		Q.A.		
		MATERIAL --		COMMENTS:		
NEXT ASSY	USED ON	FINISH --				
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING				
SIZE A	DWG. NO.				REV.	
SCALE:1:1	WEIGHT:			SHEET 1 OF 1		



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES: FRACTIONAL ± ANGULAR: MACH ± BEND ± TWO PLACE DECIMAL ± THREE PLACE DECIMAL ±	NAME	DATE	Paola Jaramillo
			DRAWN		
		MATERIAL --	CHECKED		
			ENG APPR.		
		FINISH --	MFG APPR.		
			Q.A.		
NEXT ASSY	USED ON		COMMENTS:		
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING			SIZE A
					DWG. NO.
					REV.
					SCALE:1:1
					WEIGHT:
					SHEET 1 OF 1



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		DIMENSIONS ARE IN INCHES		NAME	DATE	Paola Jaramillo	
		TOLERANCES:		DRAWN			
		FRACTIONAL ±		CHECKED			
		ANGULAR: MACH ± BEND ±		ENG APPR.			
		TWO PLACE DECIMAL ±		MFG APPR.			
		THREE PLACE DECIMAL ±		Q.A.			
		MATERIAL --		COMMENTS:			
NEXT ASSY	USED ON	FINISH --				SIZE	DWG. NO.
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING				A	REV.
						SCALE:2:1	WEIGHT:
						SHEET 1 OF 1	