

**Diseño de un prototipo que permita realizar
la inspección del interior de tuberías de
acueducto por medio de un sistema
teleoperado.**

Daniela Peláez Panesso

Ingeniería Electrónica
Facultad de Ingenierías
Universidad Tecnológica de Pereira
Colombia

**Diseño de un prototipo que permita realizar
la inspección del interior de tuberías de
acueducto por medio de un sistema
teleoperado.**

Daniela Peláez Panesso

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniera Electrónica**

Director. M Sc José Andrés Chaves Osorio

Ingeniería Electrónica
Facultad de Ingenierías
Universidad Tecnológica de Pereira
Colombia

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, 19 de Octubre de 2015

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado con mucho amor a mi familia por su comprensión, confianza, compañía, apoyo y por siempre creer en mi capacidad, ya que sin ellos no hubiera podido alcanzar este gran logro que con mucho esfuerzo y perseverancia pude culminar.

A Dios por darme la oportunidad de vivir , por darme salud y haberme permitido llegar hasta este punto, por haberme puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco primordialmente a Dios por iluminarme en mi camino, ser mi guía y fortaleza en cada paso de mi vida. A mi familia por la fuerza brindada y acompañarme durante este proceso.

Agrezco a todos los profesores que durante todo este tiempo me han transmitido todos sus conocimientos y han formado parte de mi formación académica. Al ingeniero Adonái Zapata quien me orientó para que este proyecto fuera factible. Al profesor Carlos Arturo Cataño quien muy gentilmente me ayudó poniendo sus amplios conocimientos mecánicos en el desarrollo del proyecto y por su tiempo invertido. Al estudiante Jorge Luís Martínez por su aporte y acompañamiento en el sistema electrónico que compone el proyecto.

Finalmente le agradezco al director del proyecto José Andrés Chaves por dedicarme tiempo, tenerme paciencia y brindarme todo su apoyo y conocimiento durante el transcurso de este proceso. Al Grupo de Investigación Robótica Aplicada quienes me brindaron su colaboración y me acogieron durante todo este tiempo, brindándome su apoyo y fueron de gran ayuda en el proyecto y a todas las personas involucradas mil gracias por su dedicación y colaboración en el proyecto.

RESUMEN

En este proyecto de grado se pretende diseñar un prototipo que permita realizar la inspección del interior de las tuberías de acueducto de la ciudad de Pereira, con el fin de obtener las características internas y poder aclarar si las condiciones del funcionamiento son las más adecuadas o si es necesario realizar algún cambio de ésta. Este trabajo tiene como objetivos realizar el diseño electrónico y el diseño mecánico del prototipo de inspección.

Para conocer el proceso de inspección, se realiza la reseña de los diferentes dispositivos que existen a nivel mundial, así como también las diferentes formas de defectos que se presentan en las tuberías.

Para el desarrollo de este proyecto se debe tener en cuenta que el sistema electrónico va por fuera del vehículo, y por un medio alámbrico se comunicará con el prototipo. También se seleccionarán los componentes que desde el punto de vista técnico se consideren los más adecuados y que adicionalmente sean comercialmente viables.

Con respecto al diseño mecánico se realizará una descripción sobre todas las partes que se involucran, esto incluye la visualización de cada una y el ensamble de la estructura final.

Finalmente se realizará un análisis de costos de tal forma que en futuros proyectos pueda ser el sistema diseñado un prototipo implementable ya que es un sistema viable y eficiente en el medio de la inspección de tuberías.

Índice general

1.	INTRODUCCIÓN	11
1.1.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	11
2.	JUSTIFICACIÓN	13
3.	OBJETIVOS	14
3.1.	OBJETIVO GENERAL	14
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4.	MARCO DE REFERENCIA	15
4.1.	MARCO CONCEPTUAL	15
4.1.1.	Inspección	15
4.1.2.	Sistemas teleoperados	15
4.1.3.	Visión por computador	15
4.1.4.	Sistemas de tracción	15
4.1.5.	Acueducto	16
4.1.6.	Mantenimiento de ductos	16
4.1.7.	Defectos en tuberías	16
4.2.	MARCO TEÓRICO	17
4.2.1.	Componentes básicos de los sistemas de inspección teleoperados	17
4.2.2.	Sistema embebido	18
4.2.3.	Computadores de placa reducida	19
4.2.4.	Interfaz hombre-máquina	21
4.2.5.	Cámaras	22
4.2.6.	Sensores presentes en las cámaras	22
4.3.	MARCO HISTÓRICO	23
4.3.1.	Algunos dispositivos de inspección a nivel mundial	23
5.	DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR	28
5.1.	Etapa 1: Estado del arte	28
5.2.	Etapa 2: Diseño electrónico	28
5.3.	Etapa 3: Diseño mecánico	28
5.4.	Etapa 4: Pruebas	28
5.5.	Etapa 5: Puesta a punto	28
5.6.	Etapa 6: Documento	28
6.	DESARROLLO DEL PROYECTO	29
6.1.	DISEÑO ELECTRÓNICO DEL PROTOTIPO	29
6.1.1.	Etapa de potencia	29
6.1.2.	Etapa de control	32
6.1.3.	Simulación electrónica	34
6.1.4.	Diseño electrónico en board	35
6.2.	DISEÑO MECÁNICO DEL PROTOTIPO	37
6.2.1.	Ruedas	37
6.2.2.	Motores	37
6.2.3.	Cámara	38
6.2.4.	Carrete	38
6.2.5.	Chasis	39

7.	RECURSOS DISPONIBLES	41
7.1.	Materiales	41
7.2.	Institucionales	41
8.	PERSONAS QUE PARTICIPAN EN EL PROYECTO	42
9.	CONCLUSIONES	43
10.	RECOMENDACIONES	44
	Bibliografía	44

Índice de figuras

4.1. Sistemas de Tracción	15
4.2. Microcontrolador	19
4.3. Arduino Uno	19
4.4. Cubieboard	20
4.5. Raspberry Pi	21
4.6. Chip CCD	23
4.7. Chip CMOS	23
4.8. Micro Robot de Inspección	24
4.9. Arquitectura del Robot. (a) Arquitectura de dos cuerpos para un diámetro de 170mm. (b) Arquitectura de tres cuerpos para un diámetro de 40mm.	25
4.10. Panorama	25
4.11. Esquema General del Sistema para la Exploración de Tuberías	26
4.12. Ensamble Final del dispositivo móvil para la Inspección	27
4.13. Prototipo del Robot para la Inspección de Alcantarillados	27
6.1. Batería Sellada 12 Voltios 35 Amperios	29
6.2. La letra H se forma por la ubicación del motor y los conmutadores en el circuito	30
6.3. Transistor MOSFET	31
6.4. Joystick Logitech Attack 3	32
6.5. PWM	33
6.6. Circuito Electrónico	34
6.7. Corriente Positiva	35
6.8. Corriente Negativa	35
6.9. Diseño Electrónico en Board	36
6.10. Partes del Prototipo	39
6.11. Prototipo Ensamblado	40

Índice de cuadros

1.	Defectos en Tuberías	17
2.	Lista de Materiales	36
3.	Costos de materiales	41

1 INTRODUCCIÓN

Las tuberías instaladas en las redes de acueducto de las ciudades y municipios de Colombia están fabricadas en materiales diversos como asbesto-cemento, concreto-acero, hierro, acero, cobre y plástico. Dependiendo del tamaño de la población el sistema de distribución está compuesto por tuberías de distintos diámetros cuyo objetivo principal es hacer llegar el agua a los usuarios en sus respectivas viviendas sin que pierda sus condiciones de potabilidad, caudal y presión.

La operación de reparar las tuberías de acueducto consiste en reemplazar el tubo roto por uno nuevo o taponar un el orificio cuando este no compromete la estructura del ducto. Las causas más comunes de daños se presentan por raíces de los árboles los cuales parten las tuberías; tráfico pesado en las vías lo que produce asentamientos y parten las tuberías; movimientos sísmicos que parten o desajustan las tuberías. Para evitar esto se requiere tener en cuenta los procesos de precaución [1].

De acuerdo a trabajos efectuados en el área de la inspección de tuberías se han realizado diversos avances en el área de exploración para la detección de defectos, los cuales se basan en hendeduras de la pared interior de la tubería, corrosión y adherencia de objetos que impiden la correcta circulación de fluidos. Esto conlleva a explorar e impulsar nuevos métodos para la inspección de tuberías especialmente de acueducto y, además, que sea factible adaptar una gran variedad de dispositivos que faciliten la percepción de todas las características del ducto.

Este trabajo de investigación tiene como propósito crear una visión innovadora teniendo en cuenta la información adquirida durante el proceso de investigación con enfoques futuristas los cuales integren diseño, creatividad e innovación. En este caso por medio del proyecto se dará a conocer una nueva forma de diagnosticar el estado de la tubería mediante un prototipo que con la ayuda de un operario pueda dar un resultado certero de tal estado.

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P¹, tiene por objeto principal la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado incluyendo sus actividades complementarias, entre las cuales se encuentra el control de la calidad del agua. Este proceso de control de calidad tuvo sus inicios mucho antes de la división de las Empresas Públicas la cual surgió a partir del momento en que la empresa de acueducto y alcantarillado empezó operaciones de forma independiente. Estas paulatinamente fueron montando las herramientas necesarias y adquiriendo los equipos para poder realizar pruebas que garantizaran el cumplimiento de los estándares de calidad en el producto y así generar confianza a los Pereiranos [2].

Debido a que en la actualidad las redes de tuberías hacen parte fundamental de la infraestructura, tanto en la industria como en ciudades, muchas veces sufren fallas estructurales ocasionadas por poros, fisuras y roturas, los cuales provocan pérdidas en el acueducto. Además, esta inspección requiere de unos costos elevados y mayor tiempo invertido, tanto para las empresas como para las personas. Ya que el personal que trabaja en esta clase de entornos está propenso a riesgos tales como caídas, golpes, sobreesfuerzos, intoxicación, dermatitis, infecciones, entre otros.

Para obtener un correcto funcionamiento de las tuberías es necesario utilizar un dispositivo con el cual se puedan realizar procesos de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo. Procesos en los cuales se hace fundamental realizar una inspección en el interior de los ductos con el fin de que el dispositivo, y con ayuda de un operario, pueda dar un diagnóstico de sus posibles fallas e identificar otras características asociadas al funcionamiento de dicha tubería. Los principales problemas de estas inspecciones se deben a que, en muchas ocasiones, las redes se encuentran en lugares de difícil acceso, transportan materiales peligrosos o poseen un reducido tamaño, lo cual representa riesgos para los operarios que ejecutan dichas tareas.

¹Empresa de Servicios Públicos

Debido a lo anterior se puede definir la siguiente pregunta de investigación que define el problema:
¿Existe una forma eficiente y económica en la que por medio de un dispositivo se realice la inspección del interior de las tuberías de acueducto en la Ciudad de Pereira?

2 JUSTIFICACIÓN

Debido a que el transporte de fluidos y desechos ha venido creciendo puesto que las ciudades se han expandido, esto ocasiona una mayor demanda de servicios en la cual es necesaria la detección de defectos en el interior de la tubería tales como solidificación de algunos productos que dificultan el paso del fluido, fallas geológicas que pueden generar cambios físicos en la tubería, entre otras; por ello para el seguimiento y evaluación del estado de dichos ductos, es primordial tener en cuenta un alto grado de precisión y exactitud.

Adicionalmente se puede identificar que cuando se desea evaluar el comportamiento de una tubería se presentan situaciones en las que los operarios humanos pueden estar sujetos a perjuicios de su integridad física como daños derivados de un accidente o enfermedad laboral.

Cuando las tuberías se encuentran bajo el suelo, es complicado revisar el interior del ducto y realizar el análisis por los costos elevados que implica. Con el fin de garantizar un buen funcionamiento y un adecuado estado de la tubería es necesario realizar diferentes labores de mantenimiento; por tanto, se desea diseñar un dispositivo que pueda moverse dentro de una tubería con el fin de brindar una caracterización del estado del ducto; sin olvidar aspectos como seguridad, eficiencia, confiabilidad y a muy bajo costo.

3 OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un prototipo experimental teleoperado, eficiente y económico que facilite las labores de inspección en el interior de las tuberías de agua de la ciudad de Pereira.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar y simular el sistema electrónico que compone el prototipo de inspección.
2. Diseñar el prototipo del dispositivo que permite realizar la inspección por medio de un software en el cual se pueda simular su estructura mecánica.

4 MARCO DE REFERENCIA

4.1. MARCO CONCEPTUAL

Es necesario tener en cuenta algunos conceptos relevantes para el análisis de este trabajo, como lo son: inspección, sistemas teleoperados, visión por computador, sistemas de tracción, acueducto, mantenimiento de ductos y defectos en tuberías; los cuales estarán descritos a continuación.

4.1.1. Inspección

El término inspeccionar hace referencia a examinar, investigar o revisar. Se trata de una exploración que se realiza principalmente a través de la vista, en este caso se realizará a través de una cámara [3].

4.1.2. Sistemas teleoperados

Los sistemas teleoperados surgen como un requerimiento en la industria nuclear. En ella se necesitaba manipular elementos en ambientes peligrosos para el ser humano. La teleoperación permite a un operario manejar un dispositivo remoto en tiempo real mediante el uso de una interfaz que permite la interacción con el sistema de teleoperación[4].

4.1.3. Visión por computador

Se refiere al campo de la Inteligencia Artificial enfocado a que un computador pueda obtener, procesar y analizar cualquier tipo de información obtenida por medio de imágenes digitales. Esto es realizado a través de una cámara[5].

4.1.4. Sistemas de tracción

Los vehículos con ruedas son la solución más simple y eficiente para conseguir la movilidad en terrenos suficientemente duros, en el presente caso el interior de las tuberías. Como limitación más significativa cabe mencionar el deslizamiento en la impulsión, ya que depende de las características del terreno y puede presentar deslizamientos y vibraciones. A continuación en la Figura 4.1 se mostrarán los respectivos sistemas de tracción, y más adelante se comentan brevemente las características más significativas en dispositivos móviles [6].

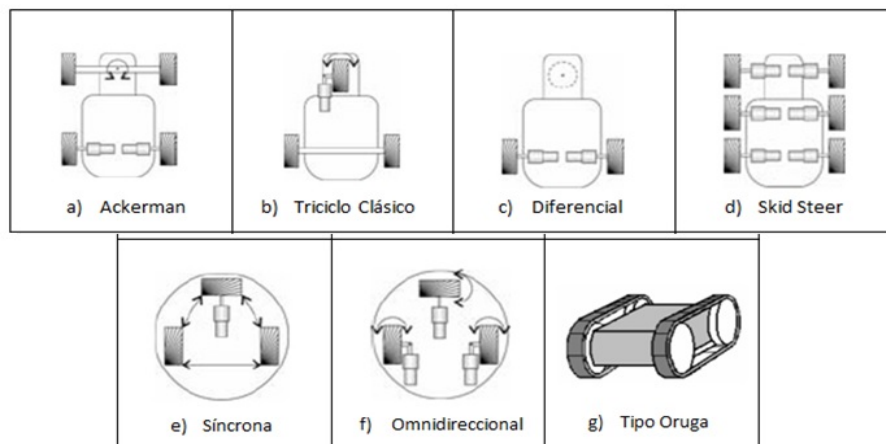


Figura 4.1: Sistemas de Tracción
(Del Autor)

- Ackerman: Es el utilizado en vehículos de cuatro ruedas convencionales. En este sistema de tracción, las ruedas delanteras son de tipo *direccionamiento* y las ruedas traseras son las encargadas

del desplazamiento; cada, tal como se muestra en la Figura 4.1.a). Adicionalmente, éste sistema de tracción presenta limitaciones en la maniobrabilidad.

- Triciclo clásico: La rueda delantera sirve tanto para la tracción como para el direccionamiento. La maniobrabilidad es mayor que en la configuración anterior pero puede presentar problemas de estabilidad en terrenos difíciles. El eje trasero, con dos ruedas laterales, es pasivo y sus ruedas se mueven libremente, tal como se muestra en la Figura 4.1.b).
- Direccionamiento diferencial: El direccionamiento viene dado por la diferencia de velocidades de las ruedas traseras laterales en las cuales se consigue la tracción. Adicionalmente, existen una rueda delantera para el soporte, tal como se muestra en la Figura 4.1.c). Esta configuración es la más frecuente en robots para interiores.
- Skid steer: Se disponen varias ruedas en cada lado del vehículo que actúan de forma simultánea. El movimiento es el resultado de combinar las velocidades de las ruedas de la izquierda con las de la derecha, tal como se muestra en la Figura 4.1.d). Este vehículo robótico tiene aplicaciones en exteriores, tales como la minería. También puede ser utilizada en la inspección y obtención de mapas de tuberías enterradas.
- Síncrona: Todas las ruedas actúan de forma coordinada por un solo motor, el cual define la velocidad del vehículo, tal como se muestra en la Figura 4.1.e).
- Omnidireccional: Consiste en el empleo de ruedas especiales, tales como las denominadas “ruedas suecas”; las cuales son capaces de trasladarse simultáneamente e independientemente en cada eje del sistema de coordenadas y rotar según el eje perpendicular, tal como se muestra en la Figura 4.1.f).
- Tipo oruga: Son utilizados principalmente en vehículos pesados como tanques o tractores. Consiste en un conjunto de eslabones que forman una cadena, tal como se muestra en la Figura 4.1.g). Permiten un desplazamiento estable en terrenos irregulares.

4.1.5. Acueducto

Consiste en un conjunto de ductos los cuales permiten el transporte de agua potable hacia una comunidad. Los sistemas de acueducto tuvieron sus inicios en Roma, donde su función principal era abastecer a una población de agua transportada desde un río o un manantial [7].

Estos sistemas de acueducto permiten el transporte, almacenamiento y entrega de agua potable con unos requerimientos mínimos de calidad, cantidad y presión desde una planta de tratamiento hasta las ciudades o poblaciones. Estas redes de tuberías deben ser resistentes a las cargas del terreno, su material suele ser de cemento, PVC², cobre, hierro, plástico, fibra de vidrio o polietileno [1].

4.1.6. Mantenimiento de ductos

El mantenimiento de ductos se destacó por haber sido realizado, en gran parte, por medio de un personal capacitado. En los años 80 se empezaron a contemplar las ventajas de la realización de algunos trabajos de mantenimiento con equipos de alta especialidad, los cuales reducían los costos del mantenimiento y aplicaban las tres fases: predicción, prevención y corrección [8].

4.1.7. Defectos en tuberías

Los defectos de las tuberías se pueden clasificar en cuatro grandes grupos los cuales están descritos en el Cuadro 1. Con las actividades de inspección se logra restablecer la integridad de los ductos y ampliar su vida útil. Ahora bien, dependiendo el grado del defecto se toma la decisión adecuada para su correcta reparación o mantenimiento [8].

²Cloruro de polivinilo

Clasificación	Forma	Comentario	Principal tipo de Daños
Por su Evolución	Defectos progresivos	Son aquellos cuyas dimensiones se incrementan con el tiempo, debido a efectos ambientales, mecánicos y/o de servicio.	Corrosión uniforme, corrosión localizada, laminaciones y ampollamiento por hidrógeno.
	Defectos estáticos	Son defectos cuyas dimensiones no se alteran con el paso del tiempo.	Abolladuras, entallas y rayones, deformación y pliegues.
Por su Origen	Defectos de manufactura	Ocurren durante la fabricación de tubo.	Grietas, desalineamientos, traslapes, laminaciones e inclusiones.
	Defectos causados por el servicio	Se deben a la combinación de un material susceptible con un ambiente agresivo y en ciertos casos con esfuerzos.	Corrosión uniforme y localizada, agrietamiento por corrosión-esfuerzo en soldaduras.
	Defectos causados por fuerzas externas	Se deben al contacto físico con otros objetos, así como a las presiones por movimiento de suelos, subsidencia y presiones de viento o marea.	Abolladuras, ralladuras, indentaciones, deformaciones.
	Defectos de construcción	Son introducidos durante la soldadura de campo.	Socavación, fusión incompleta, grietas y desalineamientos.
Por su Geometría	Puntuales	Son defectos pequeños, cuyas dimensiones (largo y ancho) son del mismo orden de magnitud que el espesor. Normalmente este tipo de defectos no degrada la resistencia del tubo y solo producen riesgo de fugas.	
	Axiales	Son defectos cuyo ancho es menor y su largo es al menos diez veces el ancho. Son muy sensibles a la presión y pueden producir fugas y explosiones.	
	Circunferenciales	Son defectos cuya dimensión mayor está en el ancho.	
	Aereales	Son aquellos cuyo largo y ancho son similares y a su vez mucho mayores que el espesor.	
Por su Comportamiento Mecánico	Defectos controlados por la presión	Su crecimiento y falla es impulsada por el esfuerzo circunferencial inducido por la presión interna.	Grietas axiales, erosión, corrosión uniforme, golpes.
	Defectos controlados por el esfuerzo longitudinal	La fuerza impulsora es el esfuerzo longitudinal en la tubería.	Todo tipo de defectos cuya dimensión máxima este en la dirección circunferencial.
	Defectos fugantes	Son defectos que provocan fuga pero no ponen en riesgo de explosión o colapso a la tubería.	Picaduras pequeñas y grietas cortas y profundas.

Cuadro 1: Defectos en Tuberías

4.2. MARCO TEÓRICO

Para el adecuado desarrollo del proyecto es importante realizar un análisis detallado de los diferentes aspectos que intervienen en este trabajo, con el propósito de comprender los pasos que permiten buenos resultados.

4.2.1. Componentes básicos de los sistemas de inspección teleoperados

Los sistemas de inspección teleoperados tienen una serie de componentes básicos como son [9]:

- Motores: los motores convierten algún tipo de energía en energía mecánica, originando con esto un movimiento rotatorio. Existen diversos tipos de motores, este estudio se enfoca en los motores eléctricos, en los que el trabajo se obtiene a partir de una corriente eléctrica.

- Chasis: es la estructura interna que soporta todos los componentes que contiene el prototipo. El chasis debe ser de buena resistencia, generalmente se fabrica en aluminio, fibra de vidrio o carbono.
- Sistema de comunicación: en este caso el tipo de comunicación se transmite a través de un medio físico o red alámbrica a través de cables, con el fin de no perder la comunicación con el prototipo.
- Sistema de transmisión: transmite el movimiento desde el motor hacia las ruedas.
- Ruedas: para garantizar una mayor tracción en el interior de las tuberías las ruedas suelen ser de caucho y, dependiendo el diseño, varía su tamaño y peso.
- Guaya de acero flexible: es un tipo de cable mecánico que está formado por un conjunto de alambres de acero que forman un cuerpo único de trabajo. Este cable es utilizado como recuperador del vehículo en caso que se pierda en el interior de la tubería [10].

4.2.2. Sistema embebido

Un sistema embebido (SE), o sistema empotrado, se define como un sistema electrónico diseñado específicamente para realizar unas determinadas funciones. La característica principal es que permite desarrollar algoritmos para controlar o automatizar la aplicación que se esté desarrollando. El SE consiste en un sistema basado en un microprocesador cuyo hardware y software están específicamente diseñados y optimizados para resolver un problema concreto de forma eficiente. Normalmente un SE interactúa continuamente con el entorno para vigilar o controlar algún proceso mediante una serie de sensores. Las aplicaciones más numerosas y habituales de los SE, suelen ser del tipo industrial. En general, se pueden enumerar los siguientes campos de aplicación[11]:

- Equipos industriales de instrumentación, automatización, producción, etc.
- Equipos de comunicaciones.
- En vehículos para transporte terrestre, marítimo y aéreo.
- En dispositivos dedicados al sector de consumo tales como electrodomésticos, equipamiento multimedia, juguetes, etc.
- En bioingeniería.
- En aplicaciones militares.
- Equipos para domótica.

- Algunos tipos de sistemas embebidos son:

- Microcontrolador:

La Figura 4.2 muestra un circuito integrado o chip programable que contiene internamente unidades funcionales tales como: CPU, memoria y unidades de entrada y salida. Su principal característica es que es de bajo costo y su uso requiere poco consumo de energía. Los microcontroladores están diseñados para interpretar y procesar datos e instrucciones en forma binaria. Para su programación se utilizan diferentes programas, los más comunes son: C, Basic o Ensamblador.

Existen varios fabricantes de microcontroladores, algunos de ellos son: Texas Instruments, Motorola, Atmel, Intel, Microchip, etc. Todos ellos ofrecen microcontroladores para que el usuario los implemente en diferentes aplicaciones [12].



Figura 4.2: Microcontrolador [13]

- Tarjetas de desarrollo basadas en microcontroladores:

La Figura 4.3 muestra una tarjeta de desarrollo Arduino Uno basado en el Microcontrolador ATmega328. Contiene todo lo necesario para apoyar al microcontrolador. Para que funcione simplemente es conectarlo a un computador con un cable USB o a una fuente de corriente continua. Algunas características que contiene la tarjeta son:

- *Tensión de operación de 5V
- *14 pines de entrada/salida de los cuales 6 proporcionan salida PWM
- *6 pines de entrada análoga
- *Corriente DC para cada pin de entrada/salida de 40mA
- *Dimensiones: 53,4mm X 68,6mm
- *Masa: 25g [14].

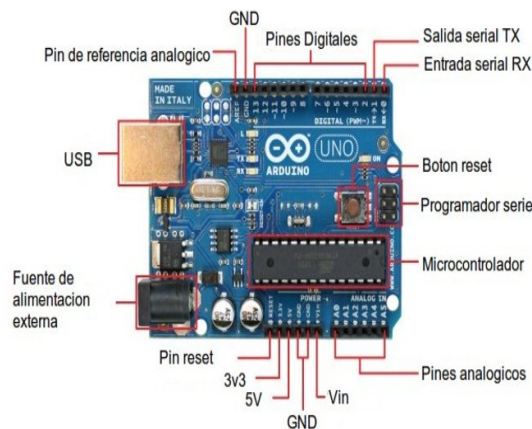


Figura 4.3: Arduino Uno [15]

4.2.3. Computadores de placa reducida

El objetivo principal de los computadores de placa reducida es optimizar los recursos y reducir los costos en la creación de proyectos tecnológicos los cuales presten un servicio y beneficien a la comunidad.

Un computador de placa reducida contiene una computadora completa, incluye: reloj, microprocesador, memoria RAM, memoria Flash, Ethernet, puertos de Entrada-Salida de control y zócalos. Es un equipo autónomo que solo requiere una fuente de alimentación para su funcionamiento [16].

Existen diferentes tipos de computadores de placa reducida, algunos de ellos están descritos a continuación:

- Cubieboard 1:

La Figura 4.4 muestra la tarjeta Cubieboard 1, la cual presenta las siguientes características:

- *Cuenta con una CPU de 1GHz ARM Cortex A8, AllWinnerTech SoC A10
- *Memoria RAM de 1GB
- *Ethernet
- *Dos puertos USB 2.0
- *Micro SD
- *Puerto HDMI para pantalla de 1080P
- *96 pines extendidos para interfaces, incluyendo I2C, SPI, RGB/LVDS, CSI/TS, FM-IN, ADC, CVBS, VGA, SPDIF-OUT, R-TP
- *Dimensiones: 10cm X 6cm[17].

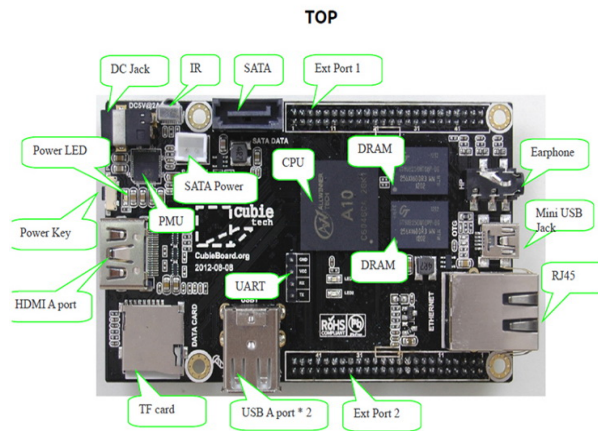


Figura 4.4: Cubieboard [18]

- Raspberry Pi:

La Figura 4.5 muestra la computadora de placa reducida Raspberry Pi, a la cual se le puede conectar una pantalla y un teclado. Es muy utilizado en electrónica para diferentes aplicaciones que brinda un computador convencional, algunas características que contiene la tarjeta son:

- *Chip de Broadcom BCM2835 SoC Full HD procesador de aplicaciones multimedia
- *CPU de 700MHz de baja potencia ARM1176JZ-F procesador de aplicaciones
- *GPU Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Procesador
- *Memoria de 512MB SDRAM
- *Ethernet
- *Dual conector USB 2.0
- *Salida de video HDMI
- *Salida de audio 3,5mm jack
- *HDMI
- *Almacenamiento SD
- *Sistema Operativo Linux
- *Dimensiones: 8,6cm x 5,4cm x 1,7cm [19].

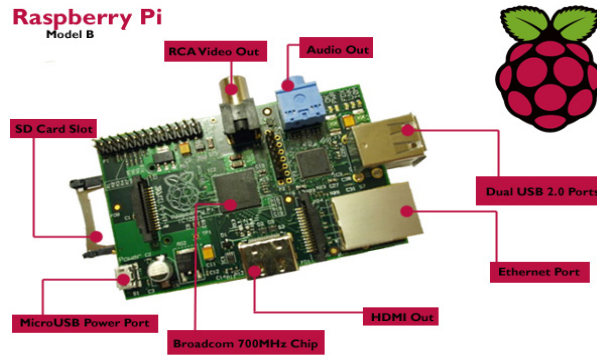


Figura 4.5: Raspberry Pi [19]

4.2.4. Interfaz hombre-máquina

La interfaz de usuario o interfaz hombre-máquina (HMI) es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina. Este se ha ido optimizando con los años y permite al operador una comunicación agradable, fácil y entendible.

La interfaz hombre-máquina tiene funciones como:

- **Monitoreo:** es la habilidad de obtener y mostrar datos en tiempo real. Estos datos pueden ser números, texto o gráficos.
- **Supervisión:** esta función permite, junto con el monitoreo, la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde el computador.
- **Alarmas:** reconoce eventos dentro del proceso y tiene la capacidad de reportarlos.
- **Control:** es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantenerlos dentro de los límites adecuados.
- **Históricos:** muestra y almacena datos del proceso, esta es una gran herramienta para optimizar y corregir procesos [20].

Una interfaz entre el dispositivo y el usuario, por medio de una pantalla, facilitará su interacción. Algunas pantallas que guardan relación con los sistemas embebidos y computadores de placa reducida vistos anteriormente son:

- **Arduino Screen:** es una pantalla de cristal líquido (LCD) retroiluminada compatible con cualquier tipo de arduino, en ella se pueden hacer textos e imágenes. La pantalla es de 1,77", con una resolución de 160x128 pixeles, la pantalla funciona con 5V DC y contiene una ranura micro-SD [21].
- **CubieScreen:** es una pantalla de cristal líquido, compatible con CubieBoard 1 y 2, tiene una resolución de 800x480 pixeles, su tamaño es de 3,5", es una pantalla táctil y también soporta un teclado y un mouse, puede ser utilizada para ver vídeos en alta definición [22].
- **PiTFT:** es una pantalla de transistores de película fina para Raspberry Pi, su tamaño es de 2,8" con una resolución de 320x240 píxeles de 16 bits de color y una capa táctil resistiva. Puede ser utilizada como una consola que muestra imágenes o vídeos y su consumo de corriente es de 100mA [23].

4.2.5. Cámaras

Las cámaras son dispositivos que permiten capturar imágenes. Están conformadas por un compartimiento oscuro y cerrado con un orificio en el extremo para que la luz ingrese, también contiene un juego de lentes que permiten enfocar el entorno que se desea capturar. Existen diferentes tipos de cámaras, algunas de ellas están descritas a continuación:

- Cámara digital: es un dispositivo electrónico que capta imágenes y videos los cuales se guardan en un formato digital para luego ser leídas por un computador [24].
- Cámaras infrarrojas: son cámaras que operan con longitudes de onda en la zona del infrarrojo térmico, aproximadamente entre los $3\mu\text{m}$ y $14\mu\text{m}$. Muchas veces, para aplicaciones de visión artificial se requieren este tipo de cámaras ya que se caracteriza por sus efectos térmicos y crea imágenes visibles para el ojo humano [25].
- Cámaras científicas: son cámaras utilizadas en aplicaciones científicas ya sea en campos médicos, biológicos o industriales. Contiene emisores fluorescentes los cuales permiten observar objetos que no son percibidos por el ojo humano [26].
- Cámaras inteligentes: éstas cámaras incorporan los elementos tradicionales de las cámaras comunes, pero además tiene un procesador, memoria y sistema de comunicación con el exterior como puerto serie, puertos de entrada-salida y ethernet; por esto puede ser muy útil en aplicaciones que requieran visión artificial [27].
- Cámaras de inspección de tuberías: para este proyecto se debe tener en cuenta una buena cámara, la cual cumpla con las especificaciones deseadas para el prototipo. Algunas cámaras de inspección fabricadas por la empresa IBAK son [28]:
 1. Iback Orpheus: es una cámara para tuberías de 150mm de diámetro, combina funcionalidades de rotación completa de la cabeza de la cámara y visión de imagen vertical, contiene 2 láseres que permiten la medición de defectos fácilmente. La iluminación es integrada por diodos LED, protegidos por tapas transparentes de alta resistencia a impactos y aseguran una luminosidad excelente.
 2. Iback Orion: es una cámara para tuberías desde 100mm de diámetro. La cabeza de la cámara es controlada por sensores, puede rotar automáticamente alrededor de las juntas de las tuberías y proporcionar una imagen siempre vertical, tiene un sistema de iluminación LED que permite una luminosidad homogénea y está cubierto por protecciones transparentes de alta resistencia. Tiene integrado un láser el cual puede realizar medidas de deformaciones y diámetro, también realiza una documentación de la inspección de la tubería.
 3. Iback Argus 5: es una cámara para tuberías de 200mm de diámetro. Es una cámara oscilatoria cuyos movimientos se pueden realizar con solo un botón. La imagen captada por la cámara se muestra siempre vertical en cualquier ángulo; la iluminación es integrada por LEDs de alta potencia la cual proporcionan una iluminación óptima tanto para distancias cortas como para distancias alejadas.
 4. Iback Pegasus: es una cámara en alta definición para tuberías de 200mm de diámetro. Los movimientos pueden ser conmutados tocando un solo botón, la iluminación está integrada por LEDs de alta potencia, también permite la inspección en diámetros grandes sin necesidad de iluminación adicional; las luces del lado izquierdo y derecho se encienden y apagan por separado siguiendo los movimientos de la cámara lo cual permite una identificación clara de los defectos que puedan haber en el interior de la tubería.

4.2.6. Sensores presentes en las cámaras

El sensor de una cámara es un pequeño chip compuesto por millones de componentes sensibles a la luz, llamados píxeles; estos píxeles se encuentran en un entorno oscuro, una vez que la luz entra es

capturada y así podremos obtener la imagen. Los sensores se pueden clasificar según su tecnología y el tipo de cámara que se tenga. Los más populares son [29]:

- Sensor CCD: convierte las cargas de las celdas de la matriz en niveles de tensión y entrega una señal analógica a la salida que luego será digitalizada por la cámara. En los sensores CCD se realiza la lectura de cada uno de los valores correspondiente a cada celda y luego un convertidor análogo-digital traduce en forma de datos tal como se muestra en la Figura 4.6.

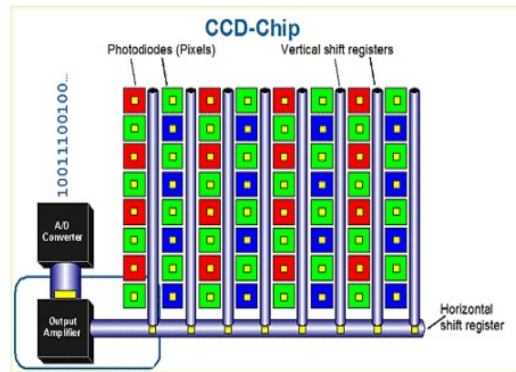


Figura 4.6: Chip CCD [29]

- Sensor CMOS: en este caso cada celda es independiente. La diferencia principal con el sensor anterior es que aquí la digitalización de los píxeles se realiza internamente en unos transistores que tiene cada celda, por lo que no necesita un chip externo que realice el trabajo, tal como se muestra en la Figura 4.7. Estos sensores son más sensibles a la luz por lo que cuando se encuentra en entornos con poca iluminación se comporta mejor. Además debido a que todo el procesado se realiza dentro del propio sensor, éste ofrece una mayor velocidad.

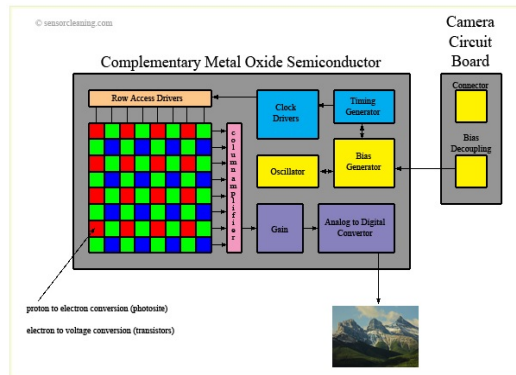


Figura 4.7: Chip CMOS [29]

4.3. MARCO HISTÓRICO

4.3.1. Algunos dispositivos de inspección a nivel mundial

Los robots son utilizados en una diversidad de aplicaciones, desde robots tortugas en los salones de clases, robots soldadores en la industria automotriz, brazos teleoperados, hasta robots de inspección. Cada robot lleva consigo su problemática propia y sus soluciones afines; no obstante que mucha gente

considera que la automatización de procesos a través de robots está en sus inicios, es un hecho innegable que la introducción de la tecnología robótica en la industria, ya ha causado un gran impacto.

Dentro del proceso investigativo se han encontrado prototipos en el área de la inspección de tuberías, algunos de ellos están citados a continuación y clasificados por ubicación mundial.

Japón:

- Micro robot de inspección en tuberías:

En Japón se desarrolló un robot de 23mm de diámetro y 110mm de longitud el cual está equipado con una micro cámara de alta calidad y una mano dual para manipular objetos pequeños en las tuberías. Puede viajar a través de tuberías verticales y secciones curvadas, haciendo posibles inspecciones que serían difíciles con endoscopios convencionales. Su velocidad de desplazamiento es de 6m/s. La Figura 4.8 muestra el esquema del micro robot de inspección [30].

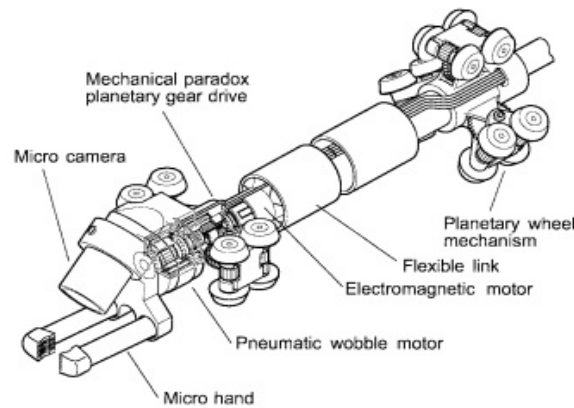


Figura 4.8: Micro Robot de Inspección [30]

Unión Europea:

- Robot de inspección con una arquitectura sencilla:

En Bruselas, Bélgica, diseñaron un robot que consta de dos partes articuladas. Una parte se guía a lo largo de la tubería por un conjunto de ruedas en un movimiento paralelo al eje de la tubería, mientras que la otra parte es obligada a seguir un movimiento helicoidal gracias a las ruedas inclinadas que giran alrededor del eje de la tubería. Un solo motor se coloca entre los dos organismos para producir el movimiento. El robot es autónomo y lleva sus propias baterías y enlace de radio. Esta arquitectura es muy simple y el movimiento giratorio puede ser utilizado para llevar a cabo tareas de depuración o de inspección. En la Figura 4.9 se puede observar las dos arquitecturas del robot para los diferentes diámetros de la tubería [31].

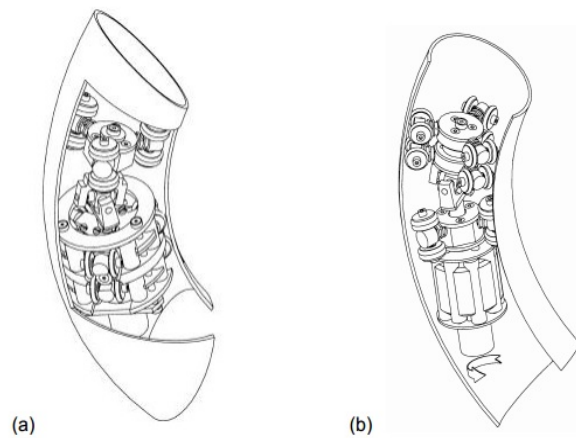


Figura 4.9: Arquitectura del Robot. (a) Arquitectura de dos cuerpos para un diámetro de 170mm. (b) Arquitectura de tres cuerpos para un diámetro de 40mm.

[31]

Estados Unidos:

- Panorama – Escanner Óptico 3D:

En la empresa VE GROUP en Estados Unidos crearon un sistema que a su vez fue patentado. Este sistema usa sus dos cámaras panorámicas de ojo de pez instaladas en cada extremo del tractor para tomar fotos en un ángulo de 185 grados a alta velocidad. Estas fotos son combinadas digitalmente obteniendo un modelo de la tubería en 3D, a una velocidad de hasta 21 metros por minuto, imágenes con 6 veces más resolución. En la Figura 4.10 se puede ver el robot que ofrece la empresa VE GROUPS [32].



Figura 4.10: Panorama

[32]

Latinoamérica:

Argentina:

- Robot para exploración de tuberías:

En Buenos Aires, Argentina realizaron una investigación en el que se presenta un robot tele-operado cuya capacidad principal es la exploración de tuberías para la detección de defectos en el interior de las mismas. Los defectos encontrados se basan en rajaduras de la pared interior de la tubería, corrosión y adherencia de objetos que impiden la correcta circulación del fluido. Este robot se desplaza longitudinalmente dentro de la tubería con un alto grado de precisión y exactitud en su odometría, el cual estudia de la estimación de la posición de vehículos con ruedas durante la navegación. Para la búsqueda y detección de fallas se emplea una mini-cámara de video a bordo del robot con una placa de digitalización en una computadora remota, en la misma se encuentra el software de análisis de fallas y de monitoreo del estado del robot. La Figura 4.11 muestra el esquema general del sistema para exploración de tuberías [33].

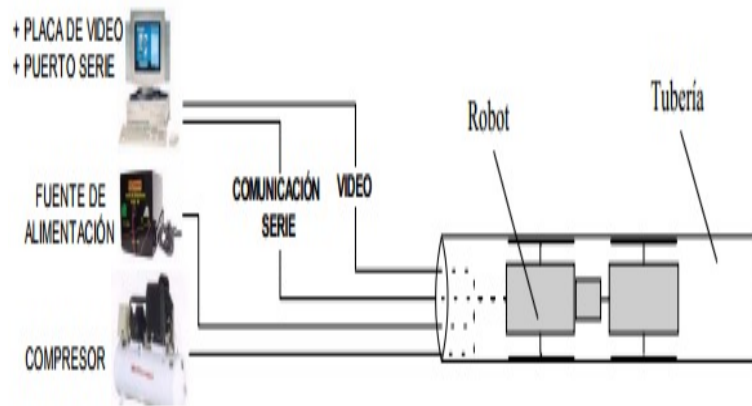


Figura 4.11: Esquema General del Sistema para la Exploración de Tuberías [33]

- Robot deformable para la inspección de ductos:

En Santiago de Chile realizaron un trabajo el cual tenía como objetivo diseñar y construir un prototipo de una nueva categoría de robot de inspección de ductos consistente en un Robot deformable octaédrico con una estructura compuesta principalmente por actuadores lineales. Al ser un octaedro, todos los lados del robot son triangulares, que al estar compuestos por actuadores lineales, pueden deformarse. De esta forma el robot puede adaptarse a los distintos escenarios, en particular a los complejos componentes de una red de tuberías. Esta estructura se puede adaptar y navegar por espacios confinados inaccesibles para la mayoría de los sistemas robóticos existentes [34].

Colombia:

En Colombia se han realizado investigaciones relacionadas con la inspección, los principales adelantos se dan en la detección de cuerpos extraños en los sistemas de alcantarillado, donde las condiciones del funcionamiento se pueden manejar oportunamente para que los vehículos de mantenimiento realicen su trabajo.

- Dispositivo móvil tele-operado para inspección de tuberías:

En Envigado realizaron un proyecto el cual se enfocó en desarrollar un diseño conceptual sobre un vehículo que puede ser utilizado para realizar una inspección visual en los sistemas de alcantarillado, se analizan diferentes métodos que cumplan con las características y especificaciones. En la Figura 4.12 se puede observar el diseño final del dispositivo para la inspección [9].

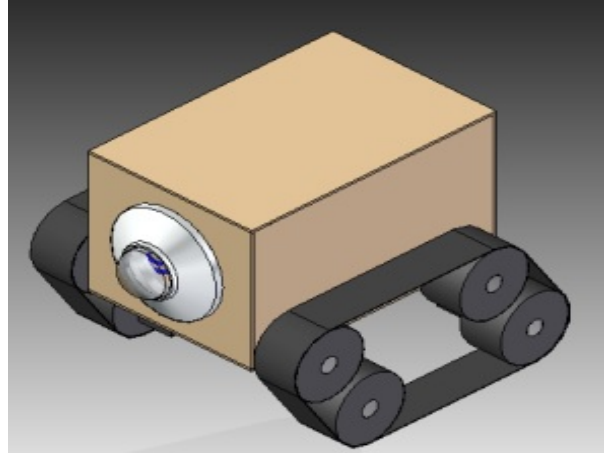


Figura 4.12: Ensamble Final del dispositivo móvil para la Inspección [9]

- Robot móvil para inspección de tuberías de alcantarillado:

Robot móvil con capacidad para implementar aplicaciones en la inspección de tuberías de alcantarillado. Utiliza una cámara de alta resolución que le permite rotar libremente 180° en sentido vertical y horizontal, accediendo fácilmente a tuberías de mínimo 6 pulgadas. Siendo controlado remotamente por un operador de manera fácil e intuitiva. Es un proyecto realizado entre la cámara de comercio de Dosquebradas y Tecnoparque Colombia Nodo Pereira. La Figura 4.13 muestra el prototipo del robot para inspección de alcantarillado [35].



Figura 4.13: Prototipo del Robot para la Inspección de Alcantarillados [35]

5 DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR

5.1. Etapa 1: Estado del arte

- Estudiar el estado del arte sobre dispositivos dedicados a la inspección de tuberías. Se realiza la investigación sobre artículos, trabajos, proyectos y productos dedicados a la inspección de tuberías en diferentes partes del mundo.
- filtrado y selección de la información.

5.2. Etapa 2: Diseño electrónico

- Por medio de un software especializado se desarrollará el diseño y la simulación de la parte electrónica que compone el dispositivo de inspección.
- Elección de los más adecuados componentes, los cuales se adapten mejor con las especificaciones deseadas para el proyecto. Estos componentes deben ser comerciales para así tener un fácil acceso a ellos.

5.3. Etapa 3: Diseño mecánico

- Analizar el mejor diseño mecánico que debe tener el dispositivo ya que se deben tener en cuenta aspectos como el entorno en que operará, resistencia al agua, humedad y temperatura.
- Diseñar el prototipo de inspección por medio de un software en el cual se pueda simular su estructura mecánica.

5.4. Etapa 4: Pruebas

- Realizar las respectivas pruebas y mejoras del proyecto.

5.5. Etapa 5: Puesta a punto

- Puesta a punto y entrega final del proyecto.

5.6. Etapa 6: Documento

- Escritura del Documento

6 DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo del trabajo de grado se debe tener en cuenta tanto el diseño electrónico como el diseño mecánico, los cuales están descritos a continuación:

6.1. DISEÑO ELECTRÓNICO DEL PROTOTIPO

Para el diseño electrónico es necesario realizar un estudio detallado sobre la etapa de potencia y la etapa de control; también se debe seleccionar los elementos adecuados, que sean comerciales para futuros montajes. Su simulación es realizada en el software Proteus 8 Professional y el diseño en el software Eagle 7.1.0.

6.1.1. Etapa de potencia

Cuando es necesario controlar el sentido de giro de un motor DC, es necesario el diseño de una etapa de potencia, el cual está compuesto por lo siguiente:

- Batería

Se define como un dispositivo que convierte la energía química en energía eléctrica por medio de las reacciones electroquímicas de oxidación y reducción. La batería está conformada por la unión de dos o más celdas conectadas en serie, paralelo o en ambas formas, con el objetivo de conseguir la capacidad y tensión deseadas.

La batería más adecuada para el diseño es la Batería Sellada FuliBattery 12V-35AH Ref. FL12350GS, tal como se muestra en la Figura 6.1. Es una batería con un voltaje nominal de 12VDC, capacidad de 35Amp/h, tiene unas dimensiones de 130mm X 195mm X 164mm y una masa de 11,2kg. La batería va por fuera de la tubería y su comunicación con el prototipo es por medio de cables[36].



Figura 6.1: Batería Sellada 12 Voltios 35 Amperios [36]

- Motor eléctrico

Los motores eléctricos son dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica por medio del campo magnético. Existen dos tipos de motores: motores de corriente continua y motores de corriente alterna. En este trabajo se hará una profundización en los motores de corriente continua.

Los motores de corriente continua se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, son motores accionados por pilas o baterías. Las partes fundamentales de un motor de corriente continua son [37]:

- Estator: en este se crea el campo magnético fijo.
- Rotor: también es llamado armadura, lleva las bobinas y está ubicado junto al estator.
- Escobillas: normalmente están fabricadas con grafito, estas hacen contacto con las bobinas del rotor produciendo chispas que generan calor.

El motor más adecuado para el diseño es el motor AME 206-series Gearmotor, los motores estarán ubicados dentro del vehículo, este presenta las siguientes características:

- Pequeño
- Alta Velocidad
- Resistente al agua
- Tensión Nominal: 12Vdc
- RPMs Nominal: 115 rpm
- Corriente sin carga: 2,7 - 3,3 A
- Corriente en estado de frenado: 18,6 - 22,7 A
- Torque: 850 oz-in (61,2 Kg-cm)
- Longitud: 20mm
- Diámetro: 13mm
- Masa: 1,2 lbs [38]

■ Puente H

Es un circuito electrónico que permite hacer girar los motores en los dos sentidos, izquierda y derecha. También conocido como “puente completo”, adopta la letra H debido a la forma que presenta dentro de un circuito esquemático simplificado, tal como se muestra en la Figura 6.2. En el centro se encuentra ubicado el motor y en cada lateral, superior e inferior, se ubican los conmutadores que al ser activados brindarán al sistema los movimientos necesarios para que el motor pueda girar. Este circuito estará por fuera de la tubería y se comunicará con los motores por medio de cables [39].

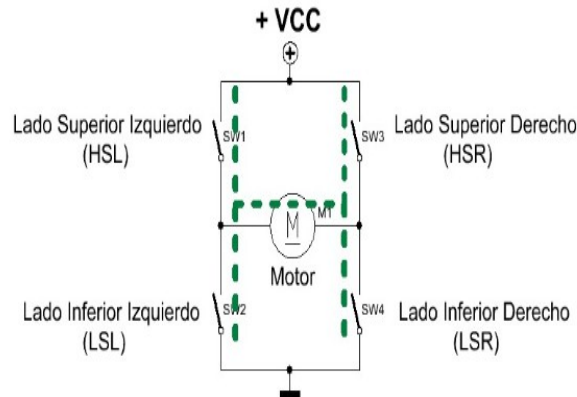


Figura 6.2: La letra H se forma por la ubicación del motor y los conmutadores en el circuito [39]

Para conectar el motor y hacerlo girar se deben activar las llaves de conmutación por pares opuestos, es decir, una llave superior y una inferior. En caso de que se presente un error en la activación, como por ejemplo que se conecten elementos superiores e inferiores al mismo tiempo, se provocará una descarga rápida y abrupta de la batería que se esté utilizando, la cual destruirá los elementos que forman las llaves conmutadoras. El puente H está compuesto por los siguientes elementos:

* Llaves conmutadoras: para la operación de motores de CC³ permitiendo un buen funcionamiento de giro en ambos sentidos se utilizan circuitos con transistores MOSFET. Estos transistores son dispositivos de efecto de campo que utilizan un campo eléctrico para crear un canal de conducción. Existen dos tipos de transistores: MOSFET de canal N en que la parte N está conectada a la fuente y al drenaje; y MOSFET de canal P en que la parte P está conectada a la fuente y al drenaje, tal como se muestra en la Figura 6.3 [40]. Para el diseño del puente H lo más adecuado es utilizar transistores MOSFET ya que estos proporcionan la corriente necesaria al motor en su estado de frenado y no permite que pueda llegar a calentarse y dañarse.

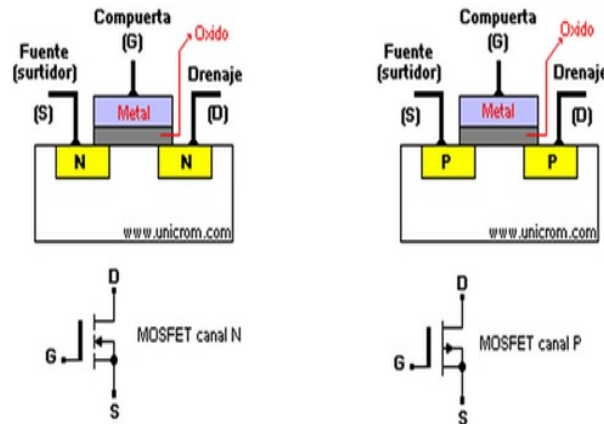


Figura 6.3: Transistor MOSFET [40]

* Diodos: son utilizados para suprimir las posibles corrientes transitorias que se puedan generar por la acción del motor. En el diseño se han escogido los diodos BYW51 los cuales tienen las siguientes características:

- Capacidad de altas sobretensiones
- Tension pico y Tensión DC de bloqueo: 200V
- Corriente total: 16A
- Corriente pico de sobretensión: 100A
- Rango de temperatura de operación: -65°c - 175°c
- Masa: 1,9 gramos [41].

* Circuito regulador de tensión: para esta aplicación es necesario diseñar una etapa de regulación la cual debe mantener la tensión que llega de la batería en 12V. Por medio de un diodo zener y condensadores se realiza este diseño, los cuales mantienen un voltaje constante en sus terminales. Para esto se ha escogido el diodo zener 1N759A [42].

* Resistencias de potencia: las resistencias de potencia regulan la cantidad de corriente eléctrica que fluye a través de los circuitos, en este caso la máxima corriente con la que se operará es de 22,7A. La corriente pierde energía a medida que pasa a través de la resistencia dándole protección al circuito para su correcta operación. Para el diseño del circuito se han utilizado resistencias de 1kΩ y 10kΩ a 10W [43].

³Corriente Continua

6.1.2. Etapa de control

Para esta etapa se utilizará un microcontrolador ATmega328p y un joystick. Hace referencia al control de movimiento y velocidad de los motores, los cuales están descritos a continuación:

- Control de movimiento: en este proyecto se utilizará como control de movimiento un joystick el cual traduce el movimiento del mando en una cadena de unos y ceros. En el diseño del circuito se simulará el joystick con un potenciómetro variable. Adicional a esto se conectan unos transistores 2N3904, estos transistores se activarán según la señal que les llegue desde el microcontrolador y por lo tanto el motor presentará o no el movimiento [44]. El joystick utilizado para esta aplicación es el Joystick Logitech Attack 3, el cual se muestra en la Figura 6.4 y tiene las siguientes características:

- * 2 ejes (aleros y elevadores)
- * 11 botones programables
- * Control de aceleración de precisión
- * Ideal para usuarios tanto diestros como zurdos
- * Base sólida y estable [45]



Figura 6.4: Joystick Logitech Attack 3 [45]

- Control de velocidad: una forma de variar la velocidad es la modulación por ancho de pulsos o PWM el cual modifica el proceso de trabajo de una señal de tipo periódica. Sirve como control de energía que se proporciona a una carga o como transmisor de datos. El PWM es una técnica para obtener resultados análogos con medios digitales los cuales crean una onda cuadrada que genera patrones de encendido y apagado con los que se puede simular tensiones de 5V y 0V. Para obtener estas ondas se utiliza el microcontrolador ATmega328p. La Figura 6.5 muestra un gráfico de PWM, las líneas verdes representan un periodo de tiempo regular. En el microcontrolador una llamada `analogWrite()` contiene una escala de 0 a 255, de tal manera que `analogWrite(255)` representa un ciclo de trabajo del 100 %, un `analogWrite(191)` representa un ciclo de trabajo del 75 %, un `analogWrite(127)` representa un ciclo de trabajo del 50 %, un `analogWrite(64)` representa un ciclo de trabajo del 25 % y un `analogWrite(0)` representa un ciclo de trabajo del 0 %. Aquí lo que se hace es mapear el tiempo a través del tiempo y a medida que las líneas crecen y decrecen se estará viendo el ancho de pulso [46].

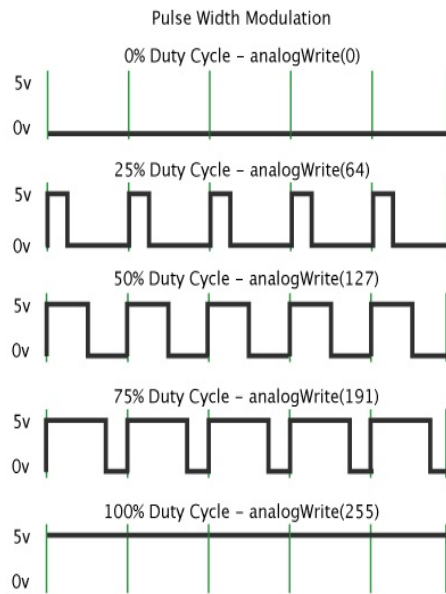


Figura 6.5: PWM
[46]

El microcontrolador ATmega328p es un chip creado por Atmel. Se usa en múltiples proyectos y sistemas donde un microcontrolador de bajo consumo y bajo costo es requerido. La implementación más común de este chip es en la plataforma Arduino [47]. El microcontrolador ATmega328p presenta las siguientes características:

- * Flash: 32Kbytes
- * RAM: 2Kbytes
- * Tensión de operación: 1,8V - 5,5V
- * 28 pines en total
- * Frecuencia de operación: 20MHz
- * CPU: 8-bit AVR
- * 16 canales variables
- * 23 pines programables de E/S
- * 24 interrupciones internas

En el microcontrolador se creó la aplicación de PWM, el código implementado está descrito a continuación:

```
// constantes:
const int sensorPin = A0; // pin del sensor
const int PWMPin = 9; // pin de salida PWM1
const int PWMPin2 = 10; // pin de salida PWM2

// variables:
int sensorValue = 0; // valor del sensor

void setup( )
{
  sensorValue = analogRead(sensorPin);
}
```

```

void loop( )
{
// lee el sensor:
sensorValue = analogRead(sensorPin);

// aplica la calibración para la lectura del sensor

if (sensorValue < 512) // lee el valor del sensor cuando esta por encima del 50 %
{
sensorValue = map(sensorValue, 0, 512, 255, 0);
analogWrite(PWMPin1, sensorValue); // el valor a la salida PWM1 es el indicado según el potenciómetro
digitalWrite(PWMPin2, LOW); //el valor a la salida PWM2 es bajo
}
if (sensorValue > 512) lee el valor del sensor cuando esta por debajo del 50 %
{
sensorValue = map(sensorValue, 512, 1024, 0, 255);
analogWrite(PWMPin2, sensorValue); // el valor a la salida PWM2 es el indicado según el potenciómetro
digitalWrite(PWMPin1, LOW); // el valor a la salida PWM1 es bajo
}
}
}

```

6.1.3. Simulación electrónica

Con el programa Proteus se podrá realizar la simulación de circuitos electrónicos. Proteus sigue los reglamentos industriales estrictamente, con lo que hace que los trabajos efectuados sean legítimos y seguros. A continuación en la Figura 6.6 se podrá ver el circuito electrónico del dispositivo montado en Proteus.

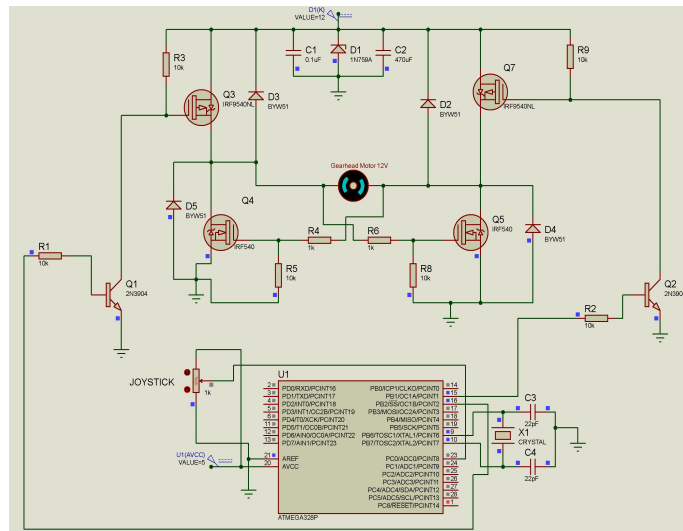


Figura 6.6: Circuito Electrónico (Del Autor)

Al variar el potenciómetro en dirección positiva y haciendo un análisis detallado de corriente vs tiempo en el motor, se tiene una corriente positiva. Tal como se muestra en la Figura 6.7.

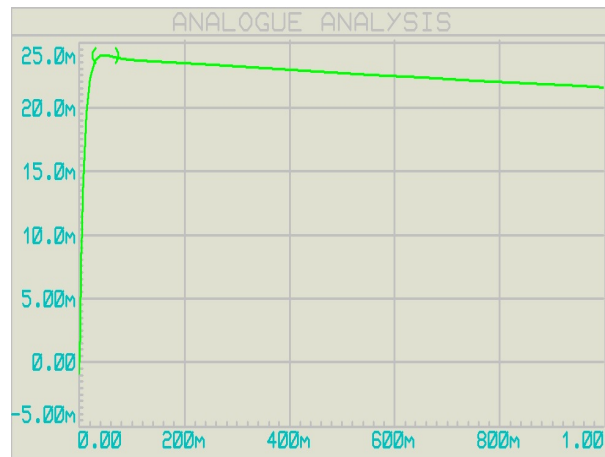


Figura 6.7: Corriente Positiva
(Del Autor)

Ahora bien, variando el potenciómetro en dirección negativa y haciendo un análisis detallado de corriente vs tiempo en el motor, se tiene una corriente negativa. Tal como se muestra en la Figura 6.8.

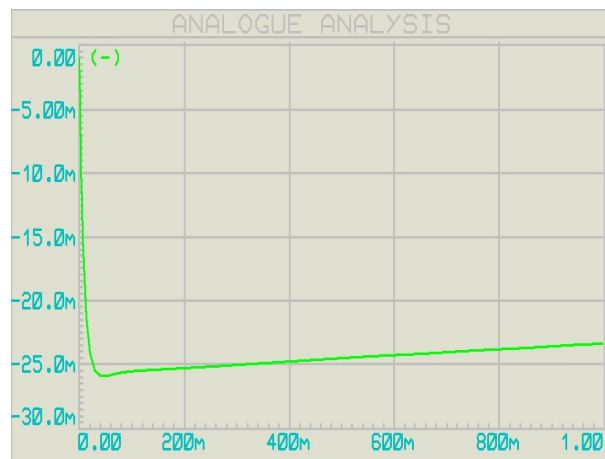


Figura 6.8: Corriente Negativa
(Del Autor)

6.1.4. Diseño electrónico en board

Por medio del programa Eagle 7.1.0 se realizó el diseño del circuito electrónico del prototipo en la board. Sus dimensiones son 120x80mm. Tal como se muestra en la Figura 6.9.

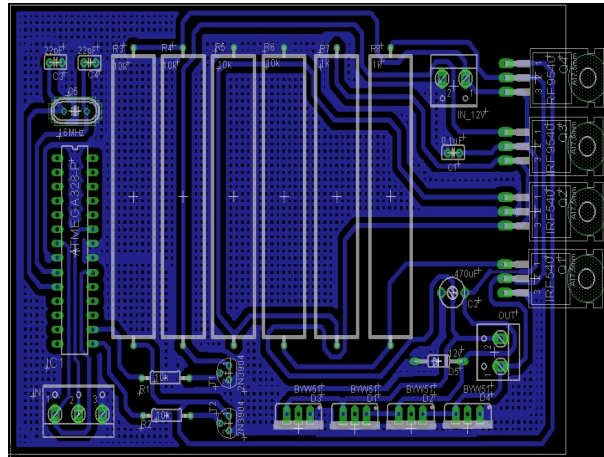


Figura 6.9: Diseño Electrónico en Board
(Del Autor)

La lista de materiales del circuito dadas por el programa Eagle están consignadas en el Cuadro 2.

Partlist

Exported from circuito.brd at 19/10/2015 8:23:52 a. m.

EAGLE Version 7.1.0 Copyright (c) 1988-2014 CadSoft

Assembly variant:

Part	Value	Package	Library	Position (mm)	Orientation
C1	0.1uF	C2.5-2	capacitor-wima	(95.717490625 53.648528125)	R180
C2	470uF	CTRIM3050.505	rc1	(95.676321875 28.76605625)	R180
C3	22pF	C2.5-2	capacitor-wima	(9.799715625 69.73453125)	R180
C4	22pF	C2.5-2	capacitor-wima	(17.16510625 69.65395)	R180
D1	BYW51	T0220ABS	diode	(74.450978125 4.539809375)	R180
D2	BYW51	T0220ABS	diode	(86.554128125 4.584978125)	R180
D3	BYW51	T0220ABS	diode	(62.253109375 4.57221875)	R180
D4	BYW51	T0220ABS	diode	(98.86221875 4.636828125)	R180
D5	12v	D035Z10	diode	(92.5825375 16.483265625)	R180
IC1	ATMEGA328-P	DIL28-3	Arduino-AVR	(13.97765625 36.1878)	R270
IN		W237-3E	con-wago-508	(14.775421875 7.74451875)	R0
IN_12V		W237-102	con-wago-500	(95.87195 65.5589875)	R180
OUT		W237-102	con-wago-500	(104.61435 18.1025375)	R90
Q1	IRF540	T0220	transistor-fet	(113.2648875 31.206246875)	R270
Q2	IRF540	T0220	transistor-fet	(113.403059375 43.147646875)	R270
Q3	IRF9540	T0220	transistor-fet	(113.423159375 54.78835)	R270
Q4	IRF9540	T0220	transistor-fet	(113.551428125 66.950515625)	R270
Q5	16MHz	HC49/S	crystal	(14.006709375 61.086690625)	R0
R1	10k	0207/10	resistor	(33.50100625 13.589859375)	R0
R2	10k	0207/10	resistor	(33.82503125 6.881284375)	R0
R3	10k	RESISTOR10W	res10w	(26.5662375 45.808265625)	R90
R4	10k	RESISTOR10W	res10w	(37.36291875 45.852915625)	R90
R5	10k	RESISTOR10W	res10w	(48.2340375 45.85755625)	R270
R6	10k	RESISTOR10W	res10w	(59.154078125 45.83220625)	R270
R7	1k	RESISTOR10W	res10w	(70.49631875 45.78755625)	R270
R8	1k	RESISTOR10W	res10w	(82.162996875 45.896846875)	R90

Cuadro 2: Lista de Materiales

6.2. DISEÑO MECÁNICO DEL PROTOTIPO

Es primordial para iniciar el diseño reconocer las restricciones, el medio y especificaciones en las que operará el prototipo, lo cual está descrito a continuación:

- La tubería cuenta con un diámetro de 4" (101.6mm) a lo largo de toda la tubería.
- La tubería se utiliza para transportar agua potable, esto se debe tener en cuenta en el momento de seleccionar los materiales ya que deben ser resistentes.
- Se asume la tubería como un trayecto recto y nivelado en el cual se realiza la inspección. La ciudad de Pereira tiene en cada cuadra ubicada una tapa que indica que aproximadamente el prototipo tendrá un alcance de 80 metros.
- No se tiene restricción de longitud y peso del prototipo, lo ideal es que sea lo más liviano posible, con el fin de ahorrar la mayor cantidad de energía en el movimiento que debe realizar.
- Para el diseño del prototipo el sistema de tracción más adecuado es el diferencial, el cual permite que las ruedas derecha e izquierda del vehículo giren a velocidades diferentes y pueda tomar una curva hacia un lado o hacia el otro.

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a realizar el diseño mecánico del prototipo, el cual se realiza en el software Solidworks 2014 y se compone de las siguientes partes:

6.2.1. Ruedas

Las ruedas están hechas con un material rígido y resistente, en este caso, caucho, con el fin de que no se gaste prematuramente y tengan un buen agarre en el interior del ducto.

6.2.2. Motores

Para realizar la elección del motor se deben tener en cuenta varios aspectos que son determinantes como el torque con que debe contar para poder realizar el movimiento y la velocidad que se refiere a qué tan rápido puede moverse el vehículo.

Según las especificaciones del motor se tiene que [48]:

Torque=850 oz-in (61,2 Kg-cm)

RPM=115

Radio eje motor=0,003m

La velocidad angular está dada por:

$$w = (2\pi)(n)/60 \text{ donde, } n=\text{RPM}$$

por lo tanto,

$$w = (2(3,1416)(115))/60$$

$$w = 12,0428r/s$$

Dada la velocidad angular, se calcula la velocidad así:

$$V = w * r$$

$$V = (12,0428r/s) * (0,003m)$$

$$V = 0,03612m/s$$

La velocidad nominal a la que se puede mover los motores es 0,03612m/s.

6.2.3. Cámara

La cámara adecuada para este tipo de aplicación es la Ibak Orion. Es una cámara que gira continuamente alrededor de su propio eje y proporciona una imagen en posición vertical. Puede mirar en todas las direcciones y rotar automáticamente para facilitar la inspección. La cámara presenta las siguientes características:

- Apta para tuberías desde 4" (101.6mm)
- Cámara oscilo-giratoria con sistema de imagen vertical
- Diámetro: 60mm
- Longitud: 100mm
- Masa: 500g
- Clase de protección: IP68
- Presión de prueba 1Bar
- Control de presión interna con indicación y alarma acústica
- Sistema de TV: NTSC/PAL
- Iluminación con 40 leds blancos
- Ajuste del enfoque
- Obturador electrónico automático
- Ángulo de giro: +/- 120°
- Ángulo de visualización: +/- 150° (300°)
- Ángulo continuo de rotación
- Emisor integrado para localización 32,768KHZ
- Láser integrado
- Zoom: 3x digital [49]

6.2.4. Carrete

El carrete es el medio de comunicación entre el sistema electrónico y el prototipo. Es de alta resistencia y tiene una longitud de 50m para la cámara ORION.

6.2.5. Chasis

Es la estructura que aporta rigidez y soporta los motores y la cámara. El material más adecuado para su construcción es el aluminio, ya que es el material más ampliamente utilizado tanto en la industria como en muchas otras aplicaciones. El aluminio presenta las siguientes características [50]:

- Resistencia mecánica
- Alta conductividad térmica y eléctrica
- Durabilidad
- Resistencia a la corrosión
- Maleable
- Económico

El diseño de cada parte del prototipo se muestra en la Figura 6.10.

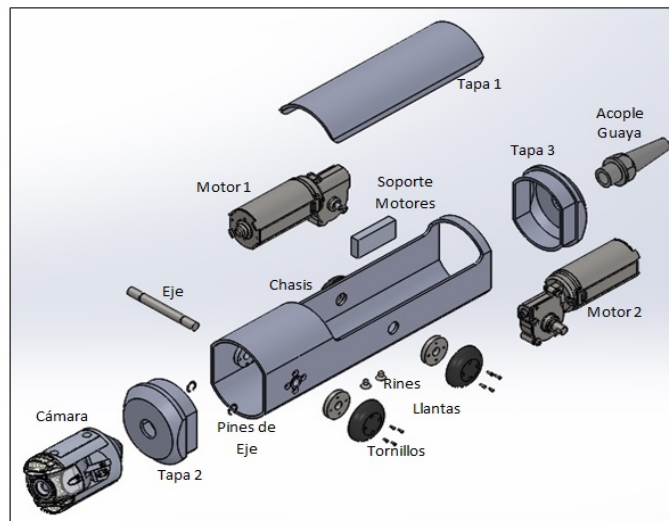


Figura 6.10: Partes del Prototipo
(Del Autor)

Según la información dada por el software, el prototipo tiene una longitud de 495,79mm, un diámetro de 95,88mm y una masa de 2563,75 gramos. En la Figura 6.11 se muestra el prototipo ensamblado.

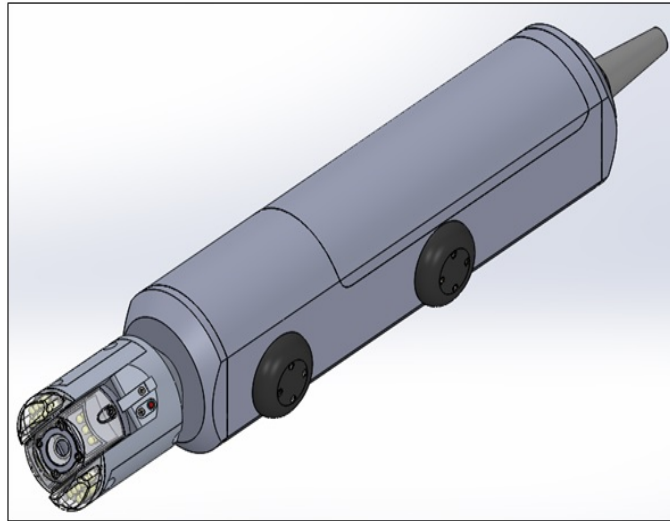


Figura 6.11: Prototipo Ensamblado
(Del Autor)

7 RECURSOS DISPONIBLES

7.1. Materiales

El presupuesto del proyecto con todos los materiales se muestra en el Cuadro 3.

Ítem	Sistema	Sub-Sistema	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Sistema Electrónico	Puente H	Bornera	3	\$ 300	\$ 900
2			Condensador 0.1uF	1	\$ 100	\$ 100
3			Condensador 470uF	1	\$ 400	\$ 400
4			Diodo BYW51	4	\$ 4.168	\$ 16.672
5			Diodo Zener	1	\$ 200	\$ 200
6			Disipador	4	\$ 900	\$ 3.600
7			Resistencias 10k	2	\$ 100	\$ 200
8			Resistencias de Potencia 1k10W	2	\$ 1.000	\$ 2.000
9			Resistencias de Potencia 10k10W	4	\$ 1.000	\$ 4.000
10			Transistor 2N3904	2	\$ 300	\$ 600
11			Transistor IRF540	2	\$ 2.500	\$ 5.000
12			Transistor IRF9540	2	\$ 2.619	\$ 5.238
13		Control de Velocidad	Microcontrolador ATmega328P	1	\$ 15.000	\$ 15.000
14			Condensador 22pF	2	\$ 100	\$ 200
15			Cristal 16MHz	1	\$ 1.000	\$ 1.000
17		Bateria	Bateria Sellada 12V 35Ah	1	\$ 272.000	\$ 272.000
18		Teleoperación	Joystick	1	\$ 70.000	\$ 70.000
19			Pantalla PiTFT 2.8"	1	\$ 101.705	\$ 101.705
20		Varios	Baquela 20x20	1	\$ 4.000	\$ 4.000
21			Soldadura	1	\$ 1.000	\$ 1.000
22				Total Sistema Electrónico		
23	Sistema Mecánico	Tracción	Motor	2	\$ 158.304	\$ 316.608
24			Ruedas	4	\$ 20.000	\$ 80.000
25			Soporte Ruedas	1	\$ 20.000	\$ 20.000
26		Chasis	Carcasa	1	\$ 350.000	\$ 350.000
27			Apoyo Cámara	1	\$ 10.000	\$ 10.000
28			Apoyo Ruedas	4	\$ 10.000	\$ 40.000
29			Anclaje Cordón	1	\$ 10.000	\$ 10.000
30		Cordón	Guaya	80	\$ 6.000	\$ 480.000
31			Cable UTP blindado	100	\$ 800	\$ 80.000
32		Cámara	Cámara Ibak Orion-Control-Cable	1	\$ 29.100.000	\$ 29.100.000
33		Varios	Tornillos	100	\$ 200	\$ 20.000
34			Accesorios	1	\$ 5.000	\$ 5.000
35			Herramienta	1	\$ 100.000	\$ 100.000
				Total Sistema Mecánico		
			TOTAL			\$ 31.115.423

Cuadro 3: Costos de materiales

7.2. Institucionales

- Grupo de Investigación Robótica Aplicada, Universidad Tecnológica de Pereira

8 PERSONAS QUE PARTICIPAN EN EL PROYECTO

Ejecutor

Daniela Peláez Panesso
Estudiante de Ingeniería Electrónica
Universidad Tecnológica de Pereira

Director

M.Sc. José Andrés Chaves Osorio
Ingeniero Electricista
Profesor del Programa de Ingeniería Electrónica
Facultad de Ciencias Básicas
Universidad Tecnológica de Pereira

Logístico

Ingeniero Adonái Zapata Gordon
Ingeniero Mecánico
Facultad de Ciencias Básicas
Universidad Tecnológica de Pereira

Ingeniero Carlos Arturo Cataño López
Ingeniero Mecánico
Facultad de Tecnologías, Escuela de Tecnología Mecánica
Universidad Tecnológica de Pereira

Jorge Luis Martínez Valencia
Estudiante Ingeniería Electrónica
Facultad de Ingenierías
Universidad Tecnológica de Pereira

Grupo de Investigación Robótica Aplicada
Facultad de Ciencias Básicas
Universidad Tecnológica de Pereira

9 CONCLUSIONES

1. En este trabajo se presenta el diseño de un prototipo robótico que permite realizar la inspección en el interior de las tuberías de acueducto el cual tiene una longitud de 495,79mm, un diámetro de 95,88mm y una masa de 2563,75 gramos; lo que indica que es un prototipo pequeño y liviano. El prototipo es capaz de desplazarse longitudinalmente por el interior de las tuberías; el sistema emplea una cámara teleoperada por un operario, lo que permite, buscar y detectar fallas en el sistema.
2. Como se pudo observar en los costos de materiales, la cámara es el componente más costoso del dispositivo diseñado, en este sentido se identifica que se puede recurrir a cámaras más económicas pero de menores prestaciones a fin de reducir los costos del sistema de inspección. La empresa Ibak, fue la elegida para la implementación en el diseño del prototipo, esta empresa ofrece varias cámaras para inspección de tuberías, para el proyecto presentado se optó por elegir la cámara Ibak Orion ya que ella permite medir la distancia de las fisuras y cuenta con sistemas de iluminación que facilitan la búsqueda y detección de fallos y problemas en la red de acueducto. Según el presupuesto, implementar el prototipo tiene un costo de \$31.140.423, valor que contrasta desde \$183.397.740 hasta \$200.070.262 que cuesta adquirir el sistema robótico de inspección de la empresa Ibak.
3. En este trabajo fue necesario realizar varios diseños mecánicos con el fin de tener un diseño muy bien estructurado para operar en tuberías con un diámetro mínimo de 4". Para futuros trabajos, Es de gran relevancia tener presente los alcances de los elementos, componentes y materiales que conforman el proyecto, ya que el adecuado seleccionamiento dará confiabilidad para alcanzar los objetivos propuestos y de esta forma lograr altas expectativas.
4. Es importante resaltar el aporte valioso que realizan los trabajos de inspección a la comunidad, con el fin de solucionar problemas en las tuberías, ya que es un avance en el mantenimiento preventivo el cual es muy amplio y poco profundizado en el país.

10 RECOMENDACIONES

1. Complementar el prototipo desarrollado agregando sistemas de sensores que permitan evaluar las características del entorno. Midiendo variables físicas como: humedad, temperatura, entre otros.
2. Para sectores de la industria que emplean sistemas de tuberías es importante el mantenimiento preventivo y la reducción de costos en los mismos, lo cual implica poder desarrollar vehículos de inspección no solo para el sector del acueducto sino también para muchos otros: alcantarillado, industria petrolera, etc.
3. El proyecto queda abierto para convocatorias o empresas interesadas en la construcción del prototipo físico.

Bibliografía

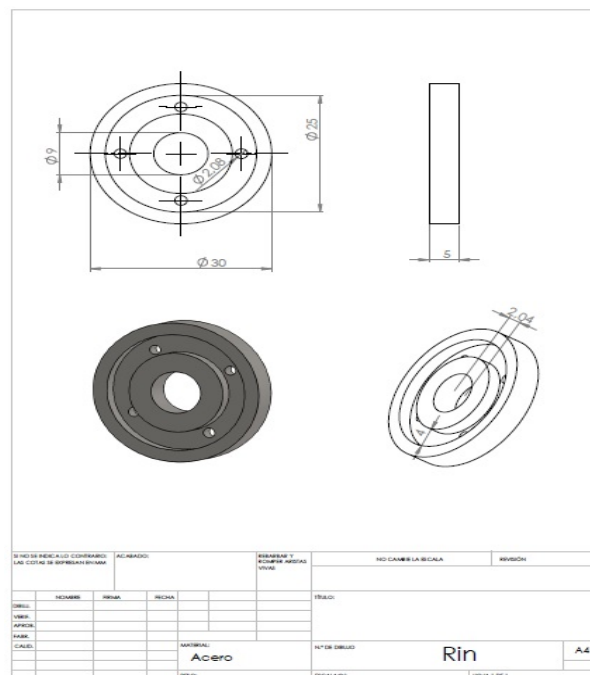
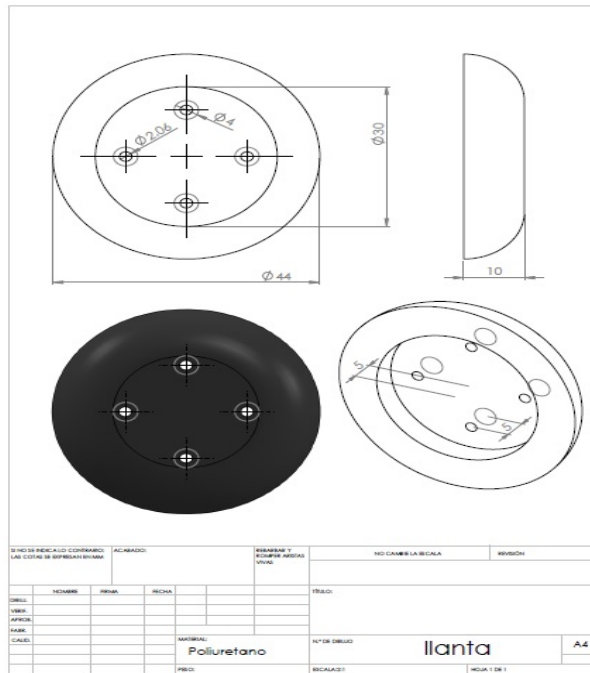
- [1] Cesarenrri, "Trabajo de acueductos y cloacas," 2015.
- [2] A. y Aguas, "Historia de aguas y aguas," 2015.
- [3] Definicion.de, "Inspección [en línea]." Disponible en: <<http://definicion.de/inspeccion/>>. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [4] R. A. C. E. Ricardo Enrique Gutiérrez Carvajal, "Control de manipuladores teleoperados," 2006.
- [5] "Visión artificial [en línea]." Disponible en: <<http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>>. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [6] A. O. Baturone, *Robótica: Manipuladores y robots móviles*. 2001.
- [7] S. F. Martínez, "Las presas y los acueductos de agua potable una asociación incompatible en la antigüedad," 2005.
- [8] M. M. J. León Buenfil, Raúl Armando, "Maestría en gerencia de proyecto de ductos," Master's thesis, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla, 2002.
- [9] D. F. Ramírez-Molina *et al.*, *Diseño de dispositivo móvil teleoperado para inspección de tuberías*. PhD thesis, Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2014.
- [10] C. S.A.C, "Cables de acero [en línea]." Disponible en: <<http://www.cablecentrosac.com/cables.html>>. [Consulta 13 de Octubre de 2015].
- [11] B. Úbeda Miñarro, "Apuntes de: Sistemas embebidos," 2009.
- [12] E. Estudio, "Microcontroladores [en línea]." Disponible en: <<http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>>. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [13] M. y sus Aplicaciones, "Microcontroladores pic y sus variedades [en línea]." Disponible en: <<https://microcontroladoresesv.wordpress.com/microcontroladores-pic-y-sus-variedades/>>. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [14] Arduino, "Arduino uno [en línea]." Disponible en: <<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>>, 2015. [Consulta 25 de Julio de 2015].

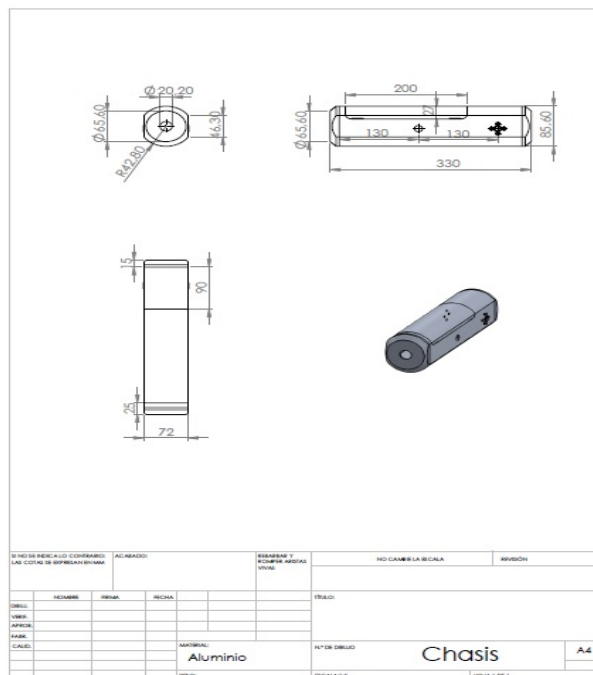
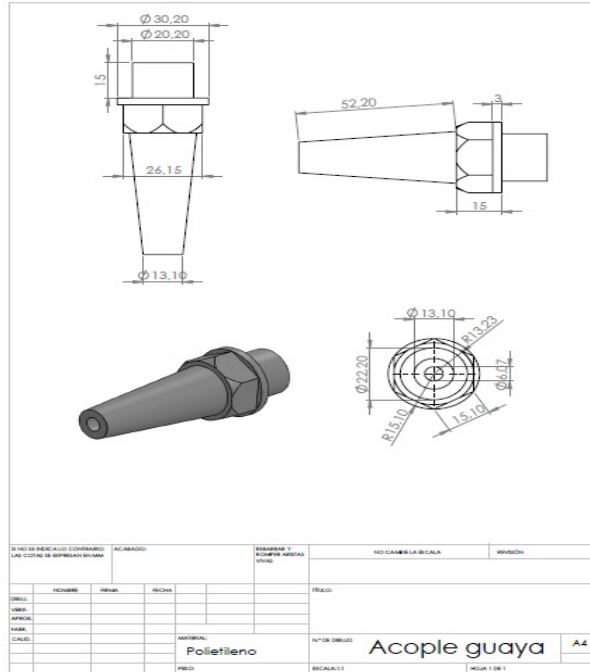
- [15] Orotronik, "Arduino uno original [en línea]." Disponible en: <<http://www.orotronik.com/arduino-uno-original-c2x15137945>>, 2014. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [16] V. Social, "Disminuyendo la brecha digital por medio de los computadores de placa reducida [en línea]." Disponible en: <<http://www.vibrasocial.org/2014/08/Computadores-Placa-Reducida.html>>, 2014. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [17] C. Docs, "Cubieboard open-source main-boards [en línea]." Disponible en: <<http://docs.cubieboard.org/>>, 2015. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [18] F. Asanza's, "Raspimax [en línea]." Disponible en: <<http://www.fernando.asanza.name/raspimax/mo6-probamos-la-cubieboard-1-a10>>. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [19] Virtuabotix, "Raspberry pi [en línea]." Disponible en: <<https://www.virtuabotix.com/product/raspberry-pi-model-revision-2-512-mb/>>, 2015. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [20] R. Saco, "Introducción a hmi," 2008.
- [21] Arduino, "Arduino tft lcd screen [en línea]." Disponible en: <<https://www.arduino.cc/en/Main/GTFT>>, 2015. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [22] Payne, *Cubiescreen Android Users-Manual for Cubieboard*. Cubieboard, 2015.
- [23] R. Pi, "Pitft+touchscreen for raspberry pi [en línea]." Disponible en: <<https://www.adafruit.com/products/1601>>. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [24] "La cámara digital fotográfica [en línea]." Disponible en: <<http://www.informaticamoderna.com>>. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [25] Infaimon, "Cámaras infrarrojas [en línea]." Disponible en: <<http://www.infaimon.com/es/camaras-infrarrojas-termicas>>, 2015. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [26] "Cámaras científicas [en línea]." Disponible en: <<http://tecnicenlaboratorios.com>>. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [27] Infaimon, "Cámaras inteligentes [en línea]." Disponible en: <<http://www.infaimon.com/es/camaras-inteligentes>>, 2015. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [28] IBAK, *Inspection Systems*.
- [29] Xatakafoto, "Sensores con tecnología ccd vs cmos [en línea]." Disponible en: <<http://www.xatakafoto.com/camaras/sensores-con-tecnologia-ccd-vs-cmos>>, 2009. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [30] M. K. Y. H. Koichi Suzumori, Toyomi Miyagawa, "Micro inspection robot for 1-in pipes," 1999.

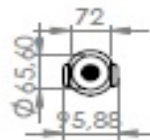
- [31] E. M. A. P. Mihaita Horodinca, Loan Doroftei, "A simple architecture for in-pipe inspection robots," 2002.
- [32] V. GROUP, "Panoramo [en línea]." Disponible en: <<http://www.vedelivers.com/inspeccion.htm>>. [Consulta 23 de Julio de 2015].
- [33] J. R. L.M. Di Matteo, C. Verrastro, "Robot para exploración de tuberías de diseño compacto, modular, estanco y de seguridad intrínseca,"
- [34] C. P. A. Díaz, "Diseño y construcción de un robot deformable para la inspección de ductos," Master's thesis, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile, 2012.
- [35] C. de Comercio de Dosquebradas & Tecnoparque Colombia Nodo Pereira, "Robot móvil para inspección de tuberías de alcantarillado [en línea]." Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=dnoEsqE3KyQ>>, 2012. [Consulta 25 de Julio de 2015].
- [36] M. libre, "Batería sellada 12 voltios 35 amperios [en línea]." Disponible en: <<http://articulo.mercadolibre.com.co>>, 2015. [Consulta 08 de Octubre de 2015].
- [37] S. D. U. A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr, *Electric Machinery*. sexta edición ed., 2003.
- [38] T. R. MarketPlace, "Ame motors [en línea]." Disponible en: <<http://www.robotmarketplace.com/>>. [Consulta 05 de Octubre de 2015].
- [39] Servisystem, "Puente h con mosfet para motores cc [en línea]." Disponible en : <<http://www.servisystem.com.ar/NEOTEO/Puente>>[Consulta 05 de Octubre de 2015].
- [40] E. Unicrom, "Mosfet - mos fet [en línea]." Disponible en: <<http://www.unicrom.com>>, 2002. [Consulta 05 de Octubre de 2015].
- [41] O. Semiconductor, *BYW 51-200 Switch-ode Power Rectifier*. [Datasheet].
- [42] Tecnología, "Diodo zener [en línea]." Disponible en: <<http://www.areatecnologia.com/electronica/diodo-zener.html>>. [Consulta 08 de Octubre de 2015].
- [43] eHow, "Definición de una resistencia de potencia [en línea]." Disponibe en: <<http://www.ehowenespanol.com>>. [Consulta 10 de Octubre de 2015].
- [44] O. y Portatiles, "Funcionamiento de un joystick [en línea]." Disponible en: <<http://www.ordenadores-y-portatiles.com/joystick.html>>, 2014. [Consulta 16 de Octubre de 2015].
- [45] P. Hardware, "Joystick logitech attack 3 y volante 180° [en línea]." Disponible en: <<http://www.peruhardware.net/foros/temas/joystick-logitech-attack-3-y-volante-180-eurocase-a-buen-precio.209389/>>. [Consulta 17 de Octubre de 2015].
- [46] Arduino, "Pwm [en línea]." Disponible en: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>>, 2015. [Consulta 16 de Octubre de 2015].

- [47] Atmel, "Atmega328p [en línea]." Disponible en: <<http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx?tab=overview>>, 2015. [Consulta 16 de Octubre de 2015].
- [48] A. Equipment, *206 Series Motor*. [Datasheet].
- [49] R. I. Usa, *Ibak Orion*. Ibak, 1828 W Olson Rd, Rochester, IN 46975 USA.
- [50] Ingemecánica, "Propiedades mecánico-químicas del aluminio [en línea]." Disponible en: <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal>>. [Consulta 15 de Octubre de 2015].

Anexo A. Planos acotados







SI NO SE INDICAO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		RESERBAS Y REEMPLAZAR VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISION	
NOMBRE		FORMA		FECHA		TITULO:			
DESE.									
VER.									
APROB.									
FABR.									
CALD.				MATERIAL:		N° DE DIBUJO		A4	
				PRO:		ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1	
						prototipo			