26.

FECHA	25 de abril del 2018

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
BIBLIOTECA
Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Sede Fusagasugá
TIPO DE DOCUMENTO	Pasantía
FACULTAD	Ingeniería
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	**Ingeniería Electrónica**

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Campos Romero	Alvaro Augusto	1069746075

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Fernandez Benavides	Arley Fernando

TÍTULO DEL DOCUMENTO
DISEÑO DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL PARA INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Electronico

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÀGINAS
2018	87

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1.Aguas residuales	Sewage water
2.Alcantarillado	Sewerage
3.Robot	Robot
4.Inspeccion	Inspection
5.Diseño Electronico	Electronic design
6.Diseño Mecanico	Mechanical design

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El alcantarillado o red de alcantarillado, es el sistema de estructuras y tuberías usadas para el transporte de aguas residuales (alcantarillado sanitario), o aguas de lluvia (alcantarillado pluvial) desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se depositen, ya sea a un cauce o lugares donde se traten o potencialicen. Las tuberías con las que cuenta una red de alcantarillado sanitario se dividen en tres clases; colectores terciarios: se conectan a las acometidas domiciliares y son de diámetro pequeño. Colectores secundarios: se encuentran en las vías públicas y son las que recogen las aguas del terciario. Colectores primarios: Son tuberías de gran diámetro, situadas generalmente en las partes más bajas de las ciudades, y transportan las aguas servidas hasta su destino final.

Estas redes de tuberías deben ser inspeccionadas de manera periódica para revisar aspectos como obstáculo al flujo, corrosiones internas, deformaciones, fugas, fisuras o grietas, conexiones de acometidas domiciliarias, entre otros. La empresa Hydrotech Ingeniería S.A.S. presta este servicio de revisión por medio de una inspección óptica, la cual consta de introducir en las tuberías (colectores secundarios) una cámara que es incitada con una sonda semirrígida que a su vez lleva dentro el cable que trasporta los datos de video a una pantalla que se encuentra al exterior. Como es evidente, este sistema de inspección es netamente mecánico, debido a esto, nace la necesidad de implementar un método que permita automatizar y reducir los riesgos de enfermedades de los operarios de estos equipos.

The sewer system is the system of structures and pipes used for the transport of wastewater (sanitary sewer), or rainwater (storm sewer) from the place where they are generated to the place where they are deposited. be to a channel or places where they are treated or potentialized. The pipelines that have a sanitary sewer network are divided into three classes; tertiary collectors: they are connected to the household connections and are of small diameter. Secondary collectors: they are on public roads and are those that collect tertiary water. Primary collectors: They are large diameter pipes, usually located in the lower parts of cities, and transport wastewater to its final destination.

These pipe networks must be inspected periodically to review aspects such as flow obstacle, internal corrosion, deformations, leaks, cracks or fissures, household connections connections, among others. The company Hydrotech Ingeniería S.A.S. This service of revision is provided by means of an optical inspection, which consists of introducing into the pipes (secondary collectors) a camera that is incited with a semirigid probe that in turn carries inside the cable that transports the video data to a screen that is outside. As is evident, this inspection system is purely mechanical, due to this, the need arises to implement a method that allows to automate and reduce the risks of diseases of the operators of these equipment.

AUTORIZACION DE PUBLICACIÒN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.		x
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos)

el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, *"Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores"*, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.
SI ___ NO _x_.
En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÒN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.

j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.

Nota:
Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Diseño de una Plataforma Robótica Móvil para la Inspección de Sistemas de Alcantarillado.pdf	Texto
2.video1	video
3.video2	video
4.video3	video

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Campos Romero Alvaro Augusto	

12.1.50

DISEÑO DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL PARA INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

ALVARO UGUSTO CAMPOS ROMERO.
Estudiante Ingeniería Electrónica

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
Ingeniería Electrónica.
Facultad de Ingeniería.
Fusagasugá, Colombia
2018

DISEÑO DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL PARA INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera Electrónica

ALVARO AUGUSTO CAMPOS ROMERO.
Estudiante Ingeniería Electrónica.

Asesor Interno:
Ing. Arley Fernández.

Asesor Externo:
Ing. Rene Melo.

Línea de investigación:
Robótica Aplicada.

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
Ingeniería Electrónica.
Facultad de Ingeniería.
Fusagasugá, Colombia
2018

Resumen

El alcantarillado o red de alcantarillado, es el sistema de estructuras y tuberías usadas para el transporte de aguas residuales (alcantarillado sanitario), o aguas de lluvia (alcantarillado pluvial) desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se depositen, ya sea a un cauce o lugares donde se traten o potencialicen. Las tuberías con las que cuenta una red de alcantarillado sanitario se dividen en tres clases; colectores terciarios: se conectan a las acometidas domiciliares y son de diámetro pequeño. Colectores secundarios: se encuentran en las vías públicas y son las que recogen las aguas del terciario. Colectores primarios: Son tuberías de gran diámetro, situadas generalmente en las partes más bajas de las ciudades, y transportan las aguas servidas hasta su destino final.

Estas redes de tuberías deben ser inspeccionadas de manera periódica para revisar aspectos como obstáculo al flujo, corrosiones internas, deformaciones, fugas, fisuras o grietas, conexiones de acometidas domiciliarias, entre otros. La empresa Hydrotech Ingeniería S.A.S. presta este servicio de revisión por medio de una inspección óptica, la cual consta de introducir en las tuberías (colectores secundarios) una cámara que es incitada con una sonda semirrígida que a su vez lleva dentro el cable que trasporta los datos de video a una pantalla que se encuentra al exterior. Como es evidente, este sistema de inspección es netamente mecánico, debido a esto, nace la necesidad de implementar un método que permita automatizar y reducir los riesgos de enfermedades de los operarios de estos equipos.

Este proyecto plasma el diseño y elaboración de un robot controlado a distancia para la inspección y mantenimiento de tuberías para alcantarillado. Dicho robot tendría la capacidad de introducirse dentro diferentes tipos de tuberías, poder recorrerlas hacia adelante o hacia atrás, tener la capacidad de ser sumergible y poder superar obstáculos que encuentre a su paso.

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

La siguiente fase de desarrollo, cuenta con el diseño mecánico, diseño electrónico, así como el de un control para que el robot se mueva de forma autónoma.

Contenido

Resumen 3
Introducción 9
1. El problema 9
1.1. Planteamiento del problema 9
1.2. Objetivos 10
1.2.1. Objetivo general 10
1.2.2. Objetivos específicos 10
1.3. Justificación 10
1.4. Alcances y limitaciones 11
2. Marco teórico 12
2.1. Antecedentes 12
2.1.1. Inundaciones en el municipio de Fusagasugá y su afectación a la salud pública. 12
2.1.2. Estado Actual de la Tecnología para Inspección de Sistemas de Alcantarillado. 16
2.2. Fundamentos teóricos 19
2.2.1. Inundaciones 19
2.2.2. Sistemas de Alcantarillado 19
2.2.2.1. Definiciones Relevantes 19
2.2.2.2. Sistema de Alcantarillado Local. 21
2.2.3. Fundamentos Electrónicos 27
2.2.3.1. Sensores y Transductores: 27
2.2.3.2. Microcontroladores 35
2.2.3.3. Micro-Procesadores 39
2.2.3.4. Controlador Lógico Programable "PLC" 41
2.2.3.5. Motores Eléctricos 41
2.2.4. Fundamentos Mecánicos 46
2.2.5. Grado de protección IP 61
3. **Diseño metodológico** 65
3.1. Metodología 65
3.2. Hipótesis 65

4. Desarrollo de Ingeniería 66
4.1. Funciones y especificaciones de Diseño: 66
4.2. Diseño Mecánico 67
4.2.1. Diseño del Bastidor. 67
4.2.2. Diseño del Tren Motriz. 69
4.2.3. Diseño del Sistema de Inspección. 72
4.2.3.1. Diseño del Sistema de Soporte de la Cámara. 75
4.3. Diseño Electrónico 77
4.3.1. Diseño de Control 77
4.3.1.1. Programación del Arduino. 81
4.3.1.2. Esquema de Conexiones. 84
4.3.2. Diseño de Potencia 85
5. Conclusiones 86

Índice de tablas

Tabla 1 - Principales causas de morbilidad, municipio de Fusagasugá, años 2009 – 2014 .. 13
Tabla 2 - Tipos de Materiales para Tuberías de Acueducto Pluvial 22
Tabla 3 - Componentes Principales de una Red de Alcantarillado Pluvial 25
Tabla 4 - Protección IP pasa Sólidos 62
Tabla 5 - Protección IP para Líquidos 63
Tabla 6 - Criterios de Selección Sistema CCTV 74
Tabla 7 - Evaluación de Alternativas de Microcontrolador 78

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 - Fusagasugá Octubre 30 de 2014 14
Ilustración 2 - Bomberos Efectúan Rescate por Inundaciones en Fusagasugá 15
Ilustración 3 - Equipos de Inspección de tuberías. 16
Ilustración 4 - Equipo de Succión Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 17
Ilustración 5 - Procedimiento de Limpieza de sumideros de aguas lluvias. 17
Ilustración 6 - Rotocam, Sistema de Inspección de Tuberías. 18
Ilustración 7 - Sistema Rovion 19
Ilustración 8 - Carro Tractor RX-95 19
Ilustración 9 - Esquema de Servicio Públicos Hidráulicos. 21
Ilustración 10 - Rejilla de Sumidero Horizontal y Lateral anti-vandalismo 22
Ilustración 11 - Sistema de Alcantarillado Pluvial 24
Ilustración 12 - Sistema de Alcantarillado Combinado 24
Ilustración 13 - Gráfica de Error por Histéresis. W. Bolton – Mecatrónica 28
Ilustración 14 - Sensor Óptico de Barrera 31
Ilustración 15 - Sensor Óptico Tipo Réflex 31
Ilustración 16 - Sensor Capacitivo 32
Ilustración 17 - Sensor Magnético Tipo Wiegan 32
Ilustración 18 - Diagrama de Bloques de un Sensor Inductivo 33
Ilustración 19 - Sensor Ultrasónico HC-SR04 de aplicación en microcontroladores 34
Ilustración 20 - Sensor de Proximidad Neumático 34
Ilustración 21 - Convertidor de Corriente a Voltaje 35
Ilustración 22 - Arquitectura de Microcontroladores Tipo Harvard 36
Ilustración 23 - Arquitectura de Microcontroladores Tipo Von Neumann 36
Ilustración 24 - Esquema Básico PIC18F2550 38
Ilustración 25 - Diagrama de Bloques Microcontrolador Motorola 68HC11 39
Ilustración 26 - Vista de algunos microprocesadores actuales. 40
Ilustración 27 - Configuración Básica de un PLC 41
Ilustración 28 - Partes Principales de un Motor Eléctrico 42
Ilustración 29 - Esquema Motor de Exitación Independiente 44
Ilustración 30 - Esquema Motor Serie 44
Ilustración 31 - Esquema Motor Shunt 44
Ilustración 32 - Esquema Motor Compound 45
Ilustración 33 - Esfuerzo Axial 46
Ilustración 34 - Esfuerzo Biaxial 47
Ilustración 35 - Esfuerzo Triaxial 47
Ilustración 36 - Esfuerzo y Deformación por Flexión 47
Ilustración 37 - Esfuerzo y deformación por torsión 47
Ilustración 38 - Esfuerzo y deformación combinados 47
Ilustración 39 - Esfuerzo Normal 48
Ilustración 40 - Esfuerzo Cortante 48
Ilustración 41 - Deformación por Cortante 49
Ilustración 42 - Relación Esfuerzo vs. Deformación 50
Ilustración 43 - Mecanismo Piñón-Cremallera 51
Ilustración 44 - Terminología de la Rosca 52
Ilustración 45 - Prensa Mecánica, Tuerca-Husillo 54
Ilustración 46 - Tipos de Engranajes. 56
Ilustración 47 - Elementos Cadena de Rodillos 57

Ilustración 48 - Parámetros Geométricos Transmisión por Correa 58
Ilustración 49 -Transmisión por correa abierta. 59
Ilustración 50 - Transmisión por correa cruzada. 59
Ilustración 51 - Transmisión por correa semi-cruzada. 60
Ilustración 52 - Transmisión por correa con rodillo tensor exterior. 60
Ilustración 53 - Transmisión por correa con rodillo tensor interior. 60
Ilustración 54 - Transmisión por correa con múltiples poleas. 61
Ilustración 55 - Esquemas de Dirección de Robots Móviles con Ruedas o RMR 67
Ilustración 56 - Robot Móvil Summit XL 67
Ilustración 57 - Tamaño Base para la Estructura del Robot 68
Ilustración 58 - Motoreductor 12 kg-cm 200 RPM. 69
Ilustración 59 - Tipos de Ruedas 70
Ilustración 60 - Ruedas Todoterreno 120 mm - 60 mm 71
Ilustración 61 - Componentes de un sistema FPV 73
Ilustración 62 - Cámara Tipo Endoscopio Flexible 74
Ilustración 63 - Primer Movimiento de Cámara 75
Ilustración 64 - Segundo Movimiento de Cámara 75
Ilustración 65 - Soporte Móvil Pan/Tilt 76
Ilustración 66 - Dimensiones Placa Arduino Mega 79
Ilustración 67 - Vista Superior Placa Arduino Mega2560 79
Ilustración 68 - Módulo Encoder HC-020k 80
Ilustración 69 - Esquema de Conexiones 84
Ilustración 70 - Shield MotoMonster 30 Amperios 85
Ilustración 71 - Fotografía de Primer Modelo Construido 86

Introducción

1. El problema

1.1. Planteamiento del problema

El continuo crecimiento de las ciudades y, de su mano, la exigente obligación de cubrimiento de las necesidades básicas como servicios de abastecimiento de agua potable, recolección de aguas grises y aguas servidas para su correcta disposición, han demandado a la industria relacionada con la prestación de estos servicios un rápido desarrollo de soluciones tecnológicas que garanticen la menor interrupción posible y una elevada eficiencia y eficacia en los procesos de mantenimiento.

Y es precisamente esta situación la que motiva al estudio del caso que nos compete. En el municipio de Fusagasugá, se han presentado durante las últimas temporadas invernales numerosos casos de desbordamiento e inundaciones, a nivel urbano y rural, debidas a los taponamientos de tuberías y sumideros de aguas grises por la acumulación de basuras y pastos en las mismas. Esta situación no se hace evidente sino hasta el momento de la inundación ya que en la actualidad no existe un sistema que permita el monitoreo remoto al interior de las tuberías dificultando la programación de los mantenimientos preventivos de este sistema; de igual forma el proceso mismo de inspección presencial configura un trabajo de riesgo para el operario con el consecuente alto costo para la empresa encargada.

Una de estas empresas es Hydrotech S.A.S. la cual se dedica a la fabricación y comercialización de maquinaria y equipo de uso especial, proveyendo soluciones de ingeniería a diferentes problemáticas de carácter local y nacional. De forma particular, en el año 2014 fueron afectados por la situación previamente descrita a causa del desbordamiento de tres quebradas aledañas lo que despertó un gran interés en el desarrollo de una plataforma tecnológica que permitiera mitigar a tiempo los riesgos sin exponer al personal encargado ni a la comunidad a las condiciones de un entorno hostil y contaminado que pueda afectar su salud.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar y construir una plataforma Robótica Móvil para la inspección de los sistemas de alcantarillado de aguas grises.

1.2.2. Objetivos específicos

- El sistema desarrollado debe tener la capacidad para ser controlado remotamente por el operario.
- Se debe incorporar un sistema de CCTV que permita la operación del robot y la identificación de obstrucciones en las tuberías.
- La información transmitida debe ser totalmente clara de modo que permita la correcta interpretación del estado del interior de la tubería.
- El prototipo debe tener una arquitectura abierta que permita la implementación de futuras actualizaciones por parte de la empresa o terceros con el fin de optimizar resultados frente a condiciones cambiantes.

1.3. Justificación

Tal como se establece en el convenio MARCO DE COOPERACIÓN ACADÉMICA CELEBRADO ENTRE LA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA Y LA EMPRESA HYDROTECH INGENIERÍA S.A.S DE FUSAGASUGÁ el objetivo primario del desarrollo de esta actividad tecnológica investigativa es la aplicación del conocimiento adquirido por EL PASANTE en la solución de una problemática ambiental cuyo impacto trasciende en la comunidad local.

Los repetidos desbordamientos a causa de la acumulación de basuras, lodo y pastos en las tuberías de recolección de aguas grises son sin duda un marcador fundamental del impacto que un proyecto como el que se presenta tiene en la salud y el bienestar de la población residente y visitante de la ciudad de Fusagasugá, motivo por el cual se considera como un tercer punto de influencia el marco del Plan de

Desarrollo para Fusagasugá 2016 – 2019 pues en éste se considera la mitigación de esta problemática ambiental como una tarea de urgente cumplimiento.

Sin embargo, se debe aclarar que en un primer momento el impacto del desarrollo del proyecto recaerá en el bienestar de los operarios quienes dejarán de arriesgar su salud en la inspección presencial de las tuberías y pasarán a realizar la tarea de forma remota con la asistencia de la plataforma robótica propuesta, mejorando sin lugar a dudas su calidad de vida y bienestar laboral.

A nivel económico se puede prever que la empresa encargada tendrá una mayor eficiencia en el desarrollo de esta labor lo cual redundará en menores costos de operación y eventualmente mayores utilidades, sin dejar a un lado la influencia positiva que los desarrollos tecnológicos propios tienen a nivel publicitario y de posicionamiento de marca, aspecto que no puede dejarse de lado cuando se trata de impulsar la investigación.

1.4. Alcances y limitaciones

El alcance del presente proyecto es la construcción de un primer prototipo de Robot Móvil que permita la inspección visual de las tuberías de aguas grises en la ciudad de Fusagasugá, cuya operación se realice a distancia por medio de cable cuya capacidad de maniobrabilidad, control, recuperación y transmisión de imágenes y video sea totalmente confiable para un rango de mínimo 80 metros de distancia del punto de operación.

En el presente documento se registrará el proceso de diseño y construcción del prototipo de robot buscando establecer los parámetros finales para el cumplimiento de la tarea propuesta, con la salvedad que existirán diferencias en lo concerniente a materiales y partes del prototipo construido y la propuesta definitiva que obedecen netamente a la proyección de costos y parámetros de financiación de la etapa de investigación previa a la fabricación definitiva del Robot Móvil que se implementará en campo.

2. Marco teórico

2.1. Antecedentes

2.1.1. Inundaciones en el municipio de Fusagasugá y su afectación a la salud pública.

En numerosas ocasiones la Alcaldía de Fusagasugá ha dirigido invitaciones a la población con el fin de estimular el cuidado y aseo de los sistemas de alcantarillado con el fin de evitar las ya frecuentes inundaciones y los daños materiales y humanos que éstos traen consigo[1] sin embargo esta labor de concientización se queda bastante corta si a la par no se implementan acciones de contingencia eficientes, las cuales sin duda tendrán un componente tecnológico destacado como el que se desarrolla a través de este documento.

Sin ir más lejos, en el año 2017 se presentaron más de cinco eventos de desbordamiento que dejaron millonarias pérdidas materiales y daños físicos a los habitantes del municipio.

Estos eventos ocurridos, en la totalidad por situaciones ambientales, sin duda pudieron ser mitigados o tener, por lo menos, un impacto inferior de contar con un sistema de alcantarillado en óptimas condiciones que no se viera sobrepasado por las lluvias habituales de la temporada. Sin embargo de acuerdo al Diagnóstico del Medio Ambiente realizado como parte del *Acuerdo 15 de 2003* de la Alcaldía de Fusagasugá[2] existen numerosos vertimientos de residuos sólidos en la zona urbana y rural producto de actividades domésticas, comerciales e industriales que en un alto porcentaje van a parar a las fuentes de agua, como lo cita el apartado *Amenazas y Riesgos Territoriales* del mencionado acuerdo: *"Los diferentes tipos de fenómenos que afectan a la población del Municipio de Fusagasugá como sismicidad, movimientos en masa, de todo tipo incluyendo deslizamientos, inundaciones, avalanchas, ruptura superficial, erosión superficial, procesos fluviales, no fueron considerados y manejados diligentemente en el pasado, a raíz de las catástrofes nacionales, estas marcaron la iniciativa para desarrollar mecanismos de atención y prevención a estos eventos. … Además el municipio* (afronta) *otros tipos de amenazas de riesgos, que deben ser tenidos en cuenta para la realización de estudios específicos para su respectiva identificación y mitigación."* Dentro de los cuales menciona específicamente: *"Riesgos de derrumbes y taponamientos viales, generados por la inestabilidad de los suelos, la falta de protección de los taludes y* ***el mal manejo de aguas de escorrentía."***[3]

De modo que éste último punto es precisamente el que compete solventar con el desarrollo de la plataforma robótica propuesta sumando esfuerzos provenientes tanto de la Administración Municipal, del ámbito académico y la empresa privada.

Adicionalmente según el "Análisis de la Situación en Salud, ASIS, Municipio de Fusagasugá, Actualización 2015" alrededor del 30% de las causas de Morbilidad de la primera infancia durante el periodo comprendido entre los años 2009 a 2014 se debieron a enfermedades transmisibles de origen respiratorio como se muestra en la tabla siguiente[4]:

Tabla 1 - Principales causas de morbilidad, municipio de Fusagasugá, años 2009 – 2014

Ciclo vital	Gran causa de morbilidad	NUMERO DE CASOS 2009	NUMERO DE CASOS 2010	NUMERO DE CASOS 2011	NUMERO DE CASOS 2012	NUMERO DE CASOS 2013	NUMERO DE CASOS 2014	PROPORCIÓN 2009	PROPORCIÓN 2010	PROPORCIÓN 2011	PROPORCIÓN 2012	PROPORCIÓN 2013	PROPORCIÓN 2014
Primera infancia (0 - 5años)	Condiciones transmisibles y nutricionales	1938	1568	2182	2075	2828	3802	30,73	26,11	29,77	27,25	30,11	32,47
	Condiciones materno perinatales *	76	95	88	155	208	283	1,21	1,58	1,20	2,04	2,21	2,42
	Enfermedades no transmisibles	2103	2035	2680	2502	3327	4135	33,35	33,88	36,56	32,86	35,42	35,31
	Lesiones	504	230	274	353	537	628	7,99	3,83	3,74	4,64	5,72	5,36
	Signos y síntomas mal definidos	1685	2078	2106	2530	2492	2863	26,72	34,60	28,73	33,22	26,53	24,45
		6306	6006	7330	7615	9392	11711						
Infancia (6 - 11 años)	Condiciones transmisibles y nutricionales	1277	1039	1287	1163	1371	2042	25,52	19,81	20,94	17,83	19,30	22,69

Puede que a primera vista no se encuentre una relación directa entre estas cifras y el caso a tratar sin embargo esta relación se hace más clara al entender que estas enfermedades transmisibles tienen una estrecha relación con las inundaciones y desbordamientos como lo explica el artículo "Efectos de las Inundaciones en la Salud Pública" donde se relaciona que *"Las inundaciones pueden afectar directamente el funcionamiento de los sistemas de salud de distintas formas, a saber:*

- *Causando un número inesperado de muertes, lesiones o incremento de las enfermedades transmisibles en la comunidad afectada, que pueden exceder la capacidad de atención terapéutica de la red asistencial.*
- *Afectando la infraestructura física de los establecimientos de salud.*

- *Interrumpiendo los servicios públicos de electricidad, agua, comunicaciones, alcantarillado, manejo de desechos sólidos y hospitalarios.*
- *Interrumpiendo las vías de acceso a los centros médicos.*
- *Generando una mayor demanda de servicios, superior a lo normal, y mayor remisión de pacientes desde las zonas afectadas a áreas donde los sistemas de salud pueden no contar con la capacidad suficiente para asistir a la nueva población.*
- *Desabasteciendo de insumos médicos por aumento de la demanda, lo que dificultaría la operación del servicio médico a mediano plazo.*
- *Aumentando el riesgo potencial de transmisión de enfermedades contagiosas.*
- *Incrementando el riesgo de trastornos psicológicos en la población afectada."* [5]

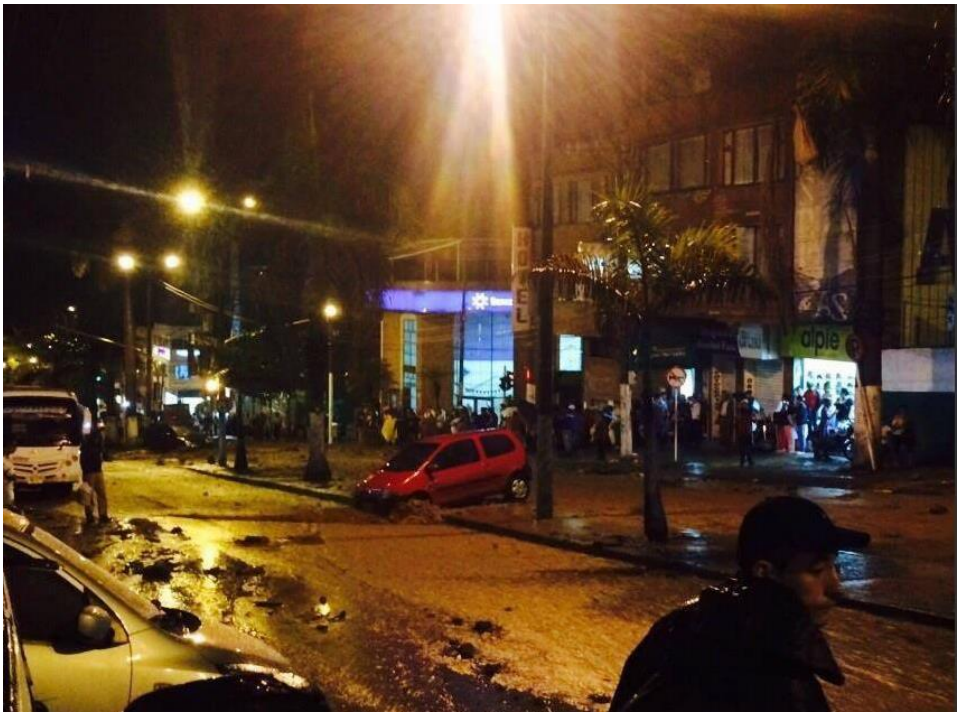


Ilustración 1 - Fusagasugá Octubre 30 de 2014

Ilustración 2 - Bomberos Efectúan Rescate por Inundaciones en Fusagasugá[1]

Estos y muchos otros desafortunados eventos de inundaciones y deslizamientos dieron cabida al planteamiento del "PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA TEMPORADA DE LLUVIAS Y POSIBLE FENÓMENO DE LA NIÑA 2016 – 2018" donde se destaca el riesgo del casco urbano a continuar experimentando estas emergencias: *"Se puede decir que, en general, toda la red hídrica del municipio de Fusagasugá presenta susceptibilidad a las inundaciones y Avenidas Torrenciales, debido a las fuertes pendientes hacia las cabeceras de las cuencas y microcuencas, como lo indica la presencia de depósitos aluviales y aluvio."*[6]

Dentro de dicho plan de emergencia se dan lineamientos para la mitigación de riesgo de los cuales competen al presente estudio los siguientes:

"RECOMENDACIONES PARA TOMA DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN. Las siguientes recomendaciones buscan orientar una adecuada gestión del riesgo de desastres desde el componente para la reducción del riesgo:

PARA COMUNIDAD:

- *Realizar los mantenimientos de las vías principales y caminos veredales en cuanto a desagües y canalización de aguas lluvias para evitar el deterioro de las mismas*
- *Las comunidades locales y veredales, deberán realizar campañas de limpieza de bocatomas para que cuando lleguen las fuertes lluvias no se afecte el abastecimiento de los acueductos veredales y municipales.*
- *No desviar ni taponar caños o desagües.*

[1] http://caracol.com.co/emisora/2017/12/12/bogota/1513073666_450509.html Diciembre 12 de 2017

PARA EMPRESAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO Y ASEO:

- *Identificar si los sistemas de drenaje, alcantarillado, manejo de aguas lluvias, y demás, son técnicamente suficientes o si requieren obras de mejoramiento adaptación a las nuevas condiciones de variabilidad climática y cambio climático.*
- *Limpieza de rejillas en los sistemas de captación.*
- *Hacer mantenimiento preventivo, limpieza y dragado de sistemas de drenaje y de cauces de quebrada y ríos, al igual que tanques que hagan parte del sistema como son los desarenadores."*[7]

2.1.2. Estado Actual de la Tecnología para Inspección de Sistemas de Alcantarillado.

En la actualidad es posible encontrar en el país diferentes herramientas para diagnosticar y des atascar tuberías de alcantarillados domésticos y pluviales con un escaso desarrollo tecnológico, los cuales centran su funcionalidad en la captación de imágenes por cámaras endoscópicas de introducción manual y el uso de sondas eléctricas para liberar los atascos en las tuberías. Todos estos desarrollos para casos de menor impacto, es decir para brindar soluciones específicas en casos de unidades habitacionales individuales o en pocos casos de conjuntos o edificios urbanos.

Ilustración 3 - Equipos de Inspección de tuberías.

De modo que estos elementos no representan un aporte diferencial al caso de estudio y se mantiene la necesidad del desarrollo de un sistema apropiado para las redes pluviales secundarias cuyas tuberías tienen diámetros internos de 8" a 12" es decir de 20 cm a 30 cm. A mayor escala existen conocidos equipos de succión presión (Vactor) para resolver casos de taponamiento en los colectores principales pero que por su tamaño y coste de operación se hacen poco viables para las dimensiones de tubería que nos competen.

Ilustración 4 - Equipo de Succión Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

Ilustración 5 - Procedimiento de Limpieza de sumideros de aguas lluvias.

A nivel internacional ya es posible encontrar desarrollos más maduros tecnológicamente que implementan sistemas de CCTV por medio de sondas y fibra óptica pero que aún no han sido implementados a nivel local como el que se muestra a continuación:

ROTOCAM, SISTEMA DE INSPECCION DE TUBERÍAS

Ilustración 6 - Rotocam, Sistema de Inspección de Tuberías.

El sistema Rotocam, es un sistema de inspección de tubería que emplea video de alta resolución para introducción manual apto para emplearse en tuberías cuyos diámetros vayan de 5 cm a 20 cm. Su cabezal móvil permite rotaciones de 360° y un ángulo de visión de 180° sin embargo no sería viable pues no cumple los requisitos locales de inspeccionar tuberías de diámetros superiores a los 20 cms.[2]

Si bien tiene puntos destacables, como el conteo de cable introducido, una plataforma gráfica de control y la posibilidad de instalar un suplemento de limpieza básico, sus limitantes y el hecho de no encontrarse en el mercado local hacen que no pueda tomarse como una solución para el problema planteado.

Finalmente se encuentran las soluciones robóticas de mayor complejidad, de las cuales no se encuentra evidencia de aplicación local debido a sus altos costos y al requerimiento de personal altamente calificado para la operación, mantenimiento y puesta en marcha de los equipos. Una de estas soluciones robóticas son los sistemas Rovion®[3] el cual integra un carro tractor y una cámara de alta definición comunicadas con el sistema de control por medio del protocolo CanBus con alternativas de inspección que capaces de ser aplicadas a tuberías de 10 cm a 2.5 metros de diámetro.

---

[2] Catálogo RotoCam. http://www.garbijet.com/archivo_producto/CATALOGO-RotoCam-1424279393.pdf

[3] Catálogo de Soluciones Robóticas Panatec. - http://www.panatec-agua.com/robot-inspeccion-ipek.php

Ilustración 7 - Sistema Rovion

Ilustración 8 - Carro Tractor RX-95

Se indagó en varias ocasiones sobre la empresa representante para Colombia sin éxito alguno, sin embargo se logró una cotización preliminar vía web del carro tractor mostrado, referencia RX-95 de segunda mano con un costo que superaba los cien millones de pesos sin tener en cuenta los gastos de legalización y envío lo cual da una idea del motivo por el que esta solución aún no es implementada.[4]

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Inundaciones

"Las inundaciones son niveles de agua por encima de lo normal debido al desbordamiento de ríos por lluvias torrenciales o subida de las mareas por encima del nivel habitual. Las inundaciones pueden ser súbitas o lentas y en zonas montañosas se pueden presentar crecientes torrenciales. Aunque las inundaciones se pueden activar por las lluvias, en muchos casos ocurren por prácticas humanas inadecuadas como construcción en zonas inundables, taponamiento de cauces, tala y quema de árboles en las cabeceras y zonas de ronda, **ausencia o deficiencia de desagües o alcantarillado."**[viii]

2.2.2. Sistemas de Alcantarillado

2.2.2.1. Definiciones Relevantes[ix]

Acometida de alcantarillado. Derivación que parte de la caja de inspección domiciliar y llega hasta la red pública de alcantarillado.

---

[4] Cotización realizada vía Ebay.co. Diciembre de 2017. https://www.ebay.com/itm/Tubo-de-inspeccion-robot-Rovion-RX-130-/222543480838?_ul=CO

Acometida múltiple. Derivación que transporta las aguas residuales de múltiples usuarios, que va de la caja de inspección domiciliar y llega hasta la red pública de alcantarillado.
Aguas lluvias. Aguas provenientes de la precipitación pluvial.
Aguas residuales. Desechos líquidos provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias.
Aguas residuales domésticas. Desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones.
Aguas residuales industriales. Desechos líquidos provenientes de las actividades industriales.
Aguas de infiltración. Agua proveniente del subsuelo, que puede ingresar al sistema de alcantarillado.
Alcantarillado de aguas combinadas. Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias.
Alcantarillado de aguas lluvias. Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de aguas lluvias.
Alcantarillado de aguas residuales. Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas y/o industriales.
Alcantarillado separado. Sistema constituido por un alcantarillado de aguas residuales y otro de aguas lluvias que recolectan y transportan en forma independiente los caudales generados en un sector.
Aliviadero. Estructura hidráulica utilizada para separar los excesos de aguas lluvias en los alcantarillados combinados.
Caja de empalme a la red. Caja ubicada al inicio de la acometida de alcantarillado que recoge las aguas residuales, lluvias o combinadas, de un inmueble, con sus respectivas tapas removibles y en lo posible ubicadas en zonas libres de tráfico vehicular.
Cámara de inspección. Estructura de forma usualmente cilíndrica, que remata generalmente en su parte superior en forma tronco-cónica, y con tapa removible para permitir la ventilación, el acceso y el mantenimiento de las redes.
Caja de inspección domiciliar. Caja ubicada en el límite de la red pública y privada que recoge las aguas residuales, lluvias o combinadas provenientes de un inmueble.
Canal. Cauce artificial, revestido o no, que se construye para conducir las aguas lluvias hasta su entrega final en un cauce natural.
Coeficiente de escorrentía. Relación que existe entre la escorrentía y la cantidad de agua lluvia que cae en una determinada área.
Colector. Pozo construido desde la superficie del terreno hasta la tubería de alcantarillado, que es empleado en la inspección y mantenimiento de la red.
Cuneta. Canal de cualquier sección ubicado, en general, entre el sardinel y la calzada de una calle, destinado a conducir las aguas de escorrentía.
Escorrentía. Porción de las aguas lluvias que no es retenida por el terreno y corre sobre la superficie.

Exfiltración. Salida de agua del sistema de alcantarillado debido a problemas de estanqueidad en los componentes del sistema.
Precipitación. Cantidad de agua lluvia caída en una superficie durante un tiempo determinado.
Redes Privadas. Las redes privadas de alcantarillado son aquellas redes que están dentro de las urbanizaciones cerradas cuya operación y mantenimiento es responsabilidad de los copropietarios.
Red pública de alcantarillado. Las redes públicas de alcantarillado son aquellas que hacen parte del sistema de alcantarillado y cuya operación y mantenimiento corre por cuenta de las Empresas Públicas.
Sedimentación. Proceso mediante el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.
Sistema de Alcantarillado. Conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales, lluvias y combinadas.
Sumidero. Estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía y entregarlas a las coberturas, fuentes superficiales, a las estructuras de conexión o cámaras de inspección de los alcantarillados combinados o de lluvias.

2.2.2.2. Sistema de Alcantarillado Local.

Ilustración 9 - Esquema de Servicio Públicos Hidráulicos.[5]

[5] Decreto 314 de 2006. Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá D.C.

En Colombia, los servicios de Agua Potable y Alcantarillado se encuentran reglamentados por un conjunto de normativas técnicas de obligatorio cumplimiento las cuales se reúnen en la DOCUMENTACIÓN TÉCNICO NORMATIVA DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO, Resolución No. 1096 del 17 de noviembre de 2000. Sin embargo, debido a que el enfoque del proyecto será en exclusiva de los sistemas de transporte de aguas grises se tuvieron en cuenta los literales D y F los cuales corresponden a los Manuales de Prácticas de Ingeniería para Alcantarillados y Aseo Urbano respectivamente.[x]

Ilustración 10 - Rejilla de Sumidero Horizontal y Lateral anti-vandalismo

La citada normativa considera una distancia mínima entre colectores para la red de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales de 1 m. en dirección horizontal y 0,3 m. en dirección vertical entre las superficies externas de los dos conductos; al mismo tiempo define el diámetro interno real mínimo de estos sistemas a 8 pulgadas (Aproximación redondeada en el documento oficial como 200 mm.). En lo referente a materiales de las tuberías para alcantarillados pluviales el artículo 136 considera los siguientes:

Tabla 2 - Tipos de Materiales para Tuberías de Acueducto Pluvial

Tipo de material
Ladrillo común
Ladrillo vitrificado y gres
Concreto
PVC

Profundidad Máxima de la Instalación.
Los alcantarillados de recolección de aguas pluviales siguen los mismos lineamientos de los alcantarillados sanitarios en lo referente a la profundidad de modo que la máxima profundidad de los colectores con relación a la rasante definitiva es de 5 metros.

Pozos de Inspección.
El artículo 141 de la Resolución correspondiente propone las siguientes consideraciones técnicas sobre los pozos de inspección:

- *Diámetro.* En los pozos comunes el diámetro interior es generalmente de 1,20 m. Para casos especiales, el diámetro debe estar entre 1,5 m. y 2 m., dependiendo de las dimensiones de los colectores afluentes. Para pozos comunes construidos para colectores con diámetros menores que 0,6 m, su diámetro interior debe ser de 1,2 m para permitir el manejo de varillas y demás elementos de limpieza. Para pozos especiales construidos para colectores hasta de 1,1 m de diámetro, su diámetro interior es 1,5 m. De igual manera, para colectores de 1,20 m o más de diámetro, el diámetro interior del pozo debe ser 2 m., con el fin de permitir el empleo de equipos de limpieza.

- *Profundidad.* La profundidad mínima de los pozos de inspección debe ser 1 m. sobre la cota clave del colector afluente más superficial.

- *Diámetro de acceso*. El diámetro del orificio de entrada es generalmente 0,6 m. Sin embargo, si la altura del pozo es menor que 1,8 m, el cuerpo del cilindro puede ser extendido hasta la superficie, donde debe disponerse de una losa como acceso.

- *Distancia entre pozos*. La distancia máxima entre pozos, cuando la limpieza es manual, está entre 100 y 120 m, y para métodos mecánicos o hidráulicos de limpieza, puede llegar a los 200 m. En el caso de alcantarillados sanitarios sin arrastre de sólidos, la distancia entre pozos o cajas puede ser de este orden. En emisarios finales o en colectores principales, donde las entradas son muy restringidas o inexistentes, la distancia máxima entre estructuras de inspección puede incrementarse en función del tipo de mantenimiento, la cual debe ser del orden de 300 m. En cualquier caso, las distancias adoptadas deben ser sustentadas con base en los criterios expuestos.

A continuación se muestran diagramas de los sistemas de alcantarillado pluvial presentes en el municipio:

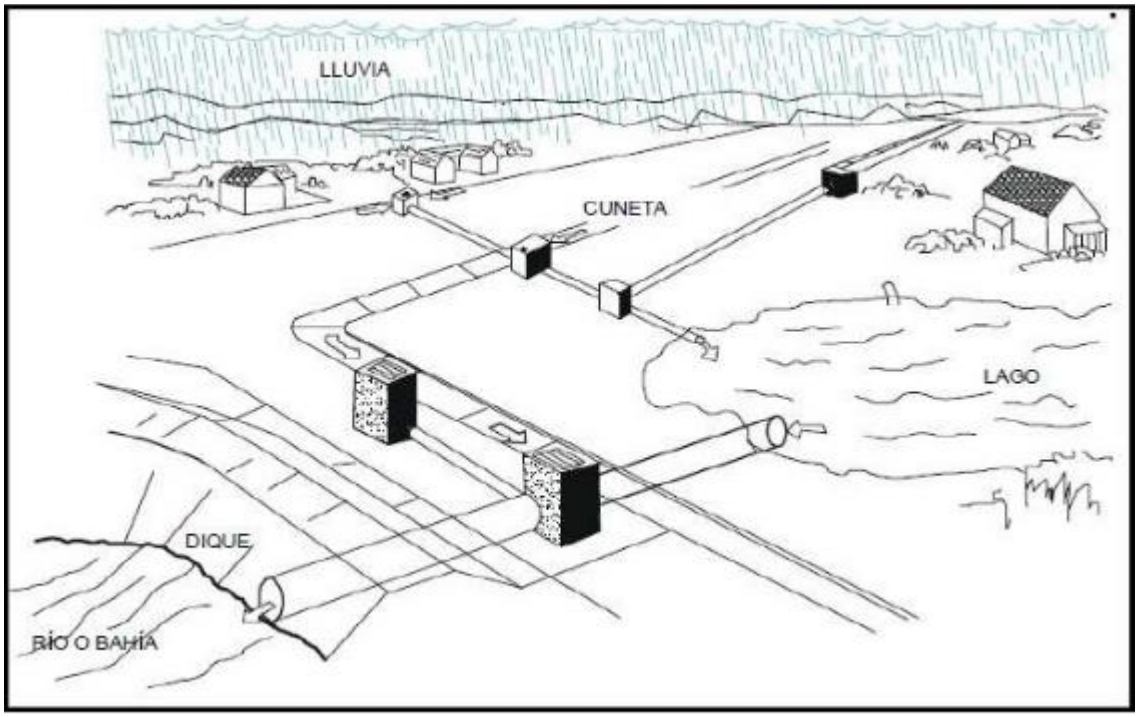


Ilustración 11 - Sistema de Alcantarillado Pluvial

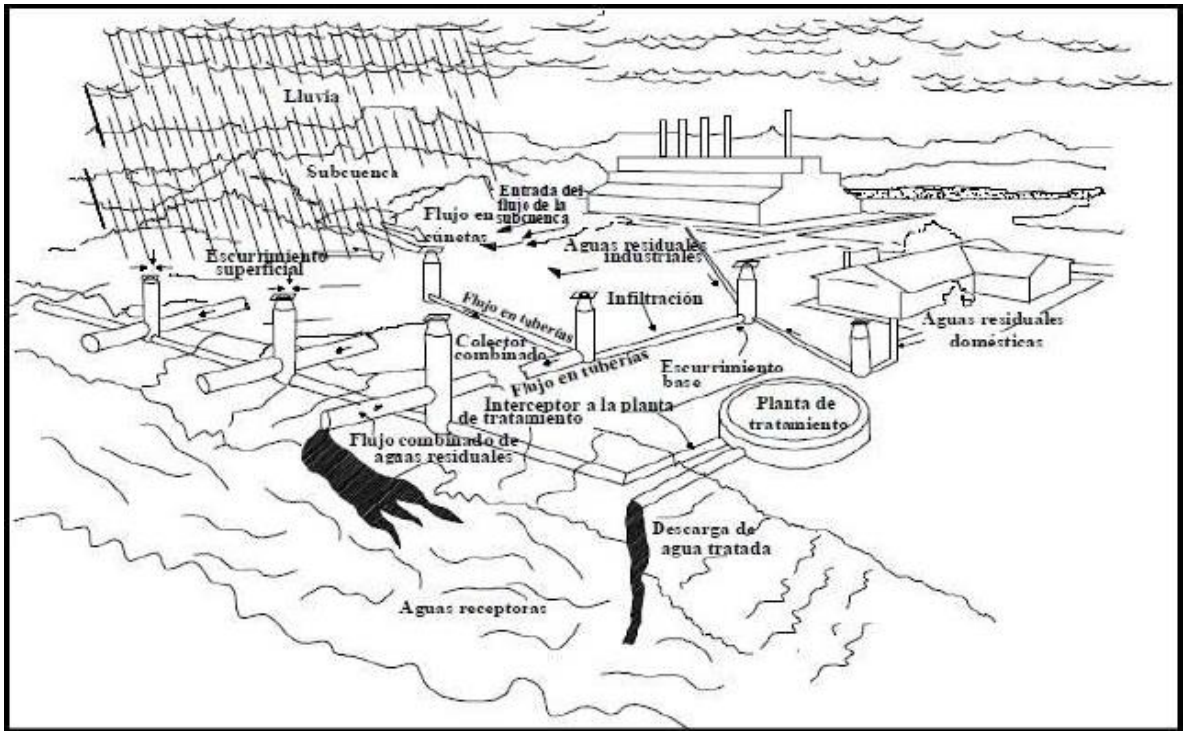
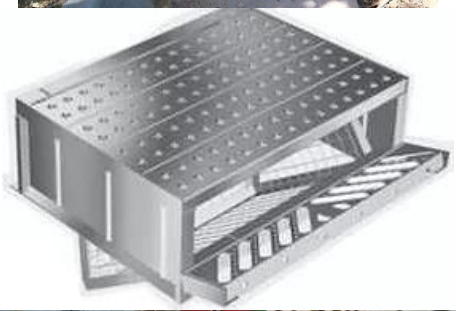
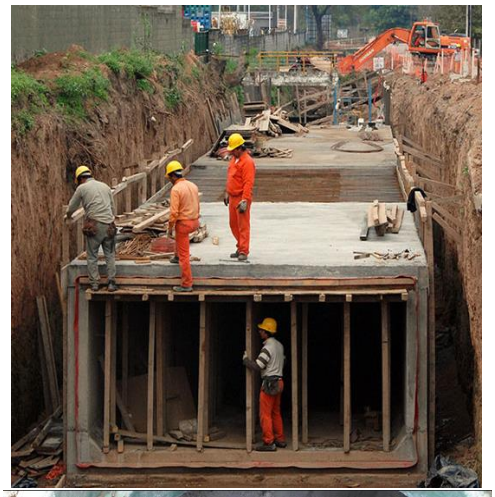


Ilustración 12 - Sistema de Alcantarillado Combinado

Tabla 3 - Componentes Principales de una Red de Alcantarillado Pluvial

Componente	Función	Ilustración
Cunetas	Recogen y concentran las aguas pluviales de las vías y de los terrenos colindantes.	
Bocas de tormenta	Son estructuras verticales que permiten la entrada del agua de lluvia a los colectores, reteniendo parte importante del material sólido transportado.	
Colectores secundarios	Son las tuberías que recogen las aguas de lluvia desde las bocas de tormenta y las conducen a los colectores principales. Se sitúan enterradas, bajo las vías públicas.	

Colectores principales	Son tuberías de gran diámetro, conductos de sección rectangular o canales abiertos, situados generalmente en las partes más bajas de las ciudades, y transportan las aguas servidas hasta su destino final.	
Pozos de inspección	Son cámaras verticales que permiten el acceso a los colectores, para facilitar su mantenimiento.	
Arcas de expansión o pozos de tormentas	Estas estructuras se utilizan en ciertos casos, donde es necesario laminar las avenidas producidas, generalmente, por grandes tormentas, allí donde no son raras.	
Vertido final de las aguas de lluvia	Son estructuras destinadas a evitar la erosión en los puntos en que las aguas de lluvia recogidas se vierten en cauces naturales de ríos, arroyos o mares.	

2.2.3. Fundamentos Electrónicos

2.2.3.1. Sensores y Transductores:[6]

En todo proceso de implementación de tecnología robótica se hace indispensable la incorporación de elementos capaces de reaccionar con las variables físicas del entorno y del proceso con el fin de emitir una señal específica que permita la supervisión y el posterior control de las acciones a realizar. Esta necesidad hace presente de forma prioritaria en el desarrollo de la plataforma robótica móvil para la inspección de sistemas de alcantarillado que se propone en este proyecto cuando se requieren conocer diferentes estados del robot como la medición de distancia recorrida, posición del móvil, transporte y orientación de la cámara de CCTV, entre otros. Por esta razón se hace imprescindible puntualizar los conceptos que rigen estos elementos.

En primer lugar, un sensor es un elemento capaz de transformar una variable física en otra que presente una mayor facilidad de lectura y evaluación, aunque la señal de salida más utilizada es la señal eléctrica, también existen elementos que producen una señal de salida de otra naturaleza como por ejemplo, una señal neumática. Los sensores pueden activarse por medio del contacto físico como los finales de carrera y celdas de carga o también pueden activarse a distancia como los sensores infra rojos, barreras fotoeléctricas, barreras de aire o sensores magnéticos, en cuyo caso son conocidos como sensores de proximidad.

De acuerdo a la señal de salida los sensores pueden clasificarse en:

- **Tipo A:** Sensores con señal de salida binaria o por interrupción.
    - Final de Carrera, Sensor de Proximidad, Presostato, Sensor de Nivel, Termostato.
- **Tipo B:** Sensores con salida por trenes de pulso.
    - Sensores incrementales rotativos (Encoders), Sensores Incrementales lineales.
- **Tipo C:** Componentes de salida analógica sin amplificador integrado, proporcionan una salida de señal débil que requiere acondicionamiento previo a ser evaluada.

[6]F. Ebel y S. Nestel. Sensores para la técnica de procesos y manipulación. Libro de Texto. Festo Didactic KG, D-7300 Esslingen, Enero de 1993.

- Sensores Piezo eléctricos, Celdas termoeléctricas, Potenciómetros Lineales.

- **Tipo D:** Sensores con salida analógica, amplificador y conversor electrónico integrado que proporcionan una salida que puede evaluarse directamente.

- **Tipo E:** Sensores y sistemas de sensores que producen una señal de salida estandarizada que puede conectarse a una red de datos como RS232, Profibus, Bus-Sensor-Actuador, entre otros.

Características de los Sensores:[7]

Rango y Margen: Se conoce como Rango de un sensor, los límites superior e inferior que éste puede medir de una variable física. El Margen es entonces la diferencia entre estos dos valores.

Error: El error es la diferencia entre el valor medido y la medida real de la variable sometida a medición.

$$Error = Valor\ Medido - Valor\ Real$$

Error por Histéresis: Se conoce como histéresis el fenómeno que ocurre en algunos sensores cuando producen una salida diferente cuando la magnitud física medida se tomó cuando ésta estaba en incremento o decremento continuo. El error por histéresis es la diferencia entre el valor máximo de salida obtenida en incremento y el valor obtenido en decremento.

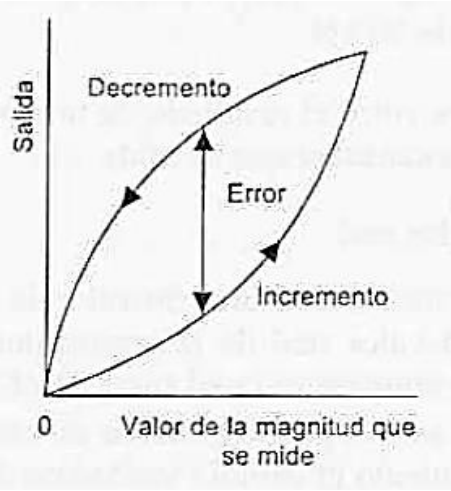


Ilustración 13 - Gráfica de Error por Histéresis. W. Bolton – Mecatrónica

[7]BOLTON, W. Mecatrónica. Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Sensores y Transductores. Editorial Alfaomega, Segunda Edición. 2001

Error por No Linealidad: Generalmente se tiene la idea que los sensores producen una salida lineal respecto a la variable física de entrada que se está midiendo, pero en la práctica muy pocos sensores poseen esta característica sin requerir de un acondicionamiento previo. Por este motivo, al suponer una salida lineal se produce un error conocido como *error por no linealidad.*

Exactitud: La exactitud hace referencia al grado en que un valor medido puede alejarse del valor real, la exactitud toma en cuenta todas las posibles fuentes de error y las agrupa en un dato que permite estimar que margen se distancia la lectura de la realidad. Es decir que si se tiene un instrumento de medida cuya exactitud sea 0.1 m es posible inferir que el valor medido puede ser mayor o menor que el valor real en por lo menos 0.1 m.

Sensibilidad: La sensibilidad es la medida que relaciona la magnitud de entrada con la magnitud de salida.

$$Sensibilidad = \frac{Salida}{Entrada}$$

Es decir, si un sensor de temperatura posee una sensibilidad de 0.15 mV/°C se puede esperar que por cada incremento de 1°C a la entrada se incremente 0.15mV a la salida. Esta medida se emplea también en casos en los que la salida se ve afectada por influencias externas en los cuales se indica en qué porcentaje se afecta la medición de acuerdo a la interferencia externa.

*Repetibilidad: E*s la capacidad de un sensor de reproducir una misma salida después de aplicar varias veces la misma entrada, cuando no se logra obtener el mismo valor de salida se expresa el error en porcentaje del rango total de salida:

$$Repetibilidad = \frac{Valor\ Máximo - Valor\ mínimo}{Rango\ Total} * 100$$

Estabilidad: La estabilidad es la capacidad de los sensores de mantener una salida constante frente a una medición de entrada constante. Para describir el cambio durante un periodo de tiempo se utiliza el término *deriva,* que hace referencia a la variación en porcentaje total de la salida en una medida determinada.

Banda Muerta: Este término hace referencia a un margen en el cual las variaciones de entrada no producen una variación a la salida.

Tiempo Muerto: Hace referencia al tiempo que tarda una entrada en producir un resultado a la salida del sensor.

Resolución: Se conoce como resolución la capacidad que tiene un sensor de producir una mínima variación a la salida en relación a la variación constante de la entrada.

Impedancia de Salida: En aquellos sensores que producen como salida una señal eléctrica que se acopla a un circuito eléctrico es necesario conocer la impedancia del circuito que se va a conectar al circuito para que la conexión no altere el comportamiento del sensor o del circuito al cual se acopla.

Tiempo de Respuesta: Es el tiempo que se requiere para que el transductor alcance un valor del 95% de la salida total al aplicar una entrada del tipo escalón.

Constante de Tiempo: Es una medida de inercia del sensor que indica que tan rápido cambia el sensor al variar la entrada; corresponde al 63.2% del tiempo de respuesta del sensor, cuanto mayor sea la constante de tiempo menor será la velocidad de respuesta del sensor.

Tiempo de Subida: Es el tiempo que requiere un sensor para alcanzar un porcentaje de su salida en estado estable, comúnmente se refiere al 10%, 90% y 95%.

Tiempo de Estabilización: Es el tiempo que tarda la salida en alcanzar el valor cercano a ±2% del valor de salida en estado estable.

Sensores Ópticos:

Los sensores ópticos hacen parte de los sensores de proximidad más utilizados ya que permiten detectar objetos en un rango de distancias superior a los sensores de contacto o electromecánicos. Generalmente utilizan como base para la detección un haz de luz roja o infrarroja.

Generalmente la luz emitida por el sensor proviene de un led emisor de larga vida útil, en ambos casos, luz roja o infrarroja, es necesario implementar un sistema que evite la interferencia de luz ambiental por medio de filtros o la modulación de la onda. Los receptores generalmente son fotodiodos o foto transistores que cambian de estado al percibir la luz que rebota en los objetos a detectar o en caso de los sensores de barrera en el reflector que lo complementa.

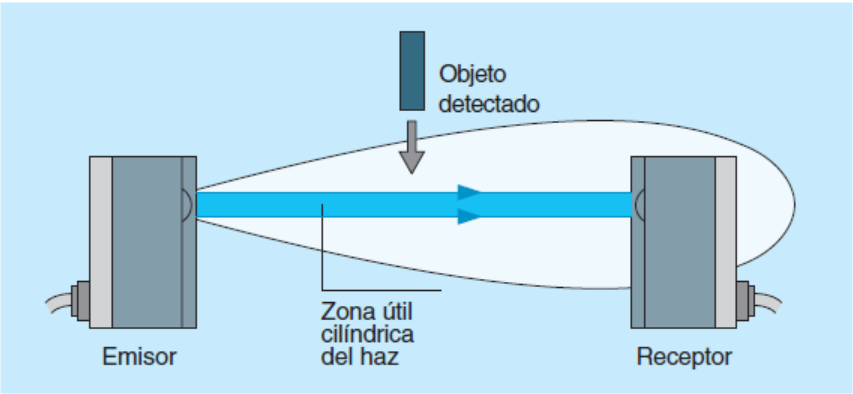


Ilustración 14 - Sensor Óptico de Barrera

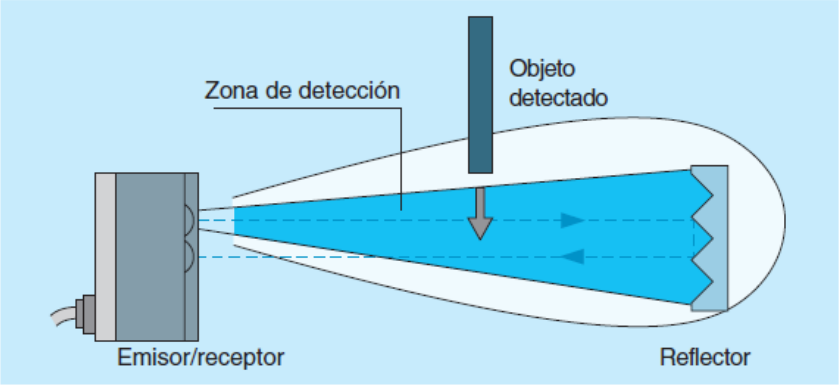


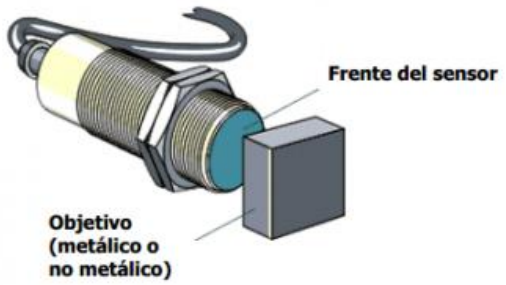
Ilustración 15 - Sensor Óptico Tipo Réflex

Sensores Capacitivos:

El principio de funcionamiento de un sensor capacitivo se basa en la medición de los cambios de capacitancia eléctrica de un condensador en un circuito resonante RC. Al interferir un material determinado entre el campo disperso producido por un electrodo, la capacitancia del circuito resonante se altera produciendo una conmutación.

El cambio de capacitancia depende esencialmente de la distancia entre el medio y la superficie activa, las dimensiones del sensor y la constante dieléctrica. La mayoría de sensores capacitivos pueden ajustar su sensibilidad al variar parámetros del circuito oscilante.

La ventaja principal es la detección de materiales diversos como el metal, plástico, vidrio, madera e incluso agua y aceites.



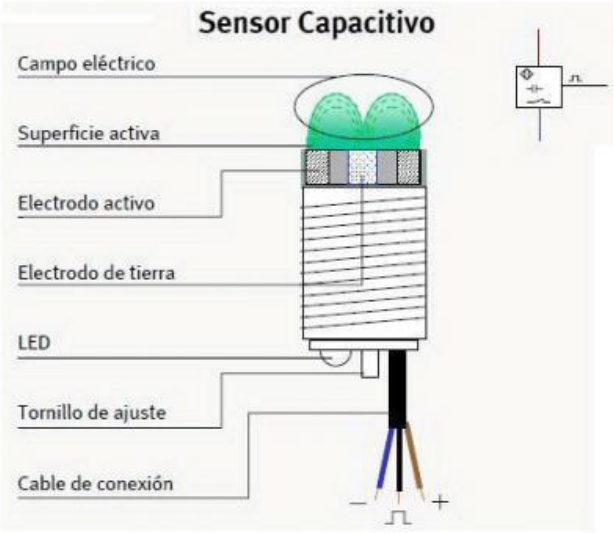


Ilustración 16 - Sensor Capacitivo

Sensores Magnéticos:

Estos sensores de proximidad trabajan a partir de la reacción frente a campos magnéticos de imanes permanentes o electroimanes. Generalmente constan de un par de láminas de contacto sumergidas en un gas inerte que se unen por magnetismo ante la proximidad de un campo produciendo un contacto eléctrico conocidos como sensores de efecto Reed. También existen sensores magneto-resistivos que cambian su resistencia eléctrica, de efecto Hall o sensores Wiegan.

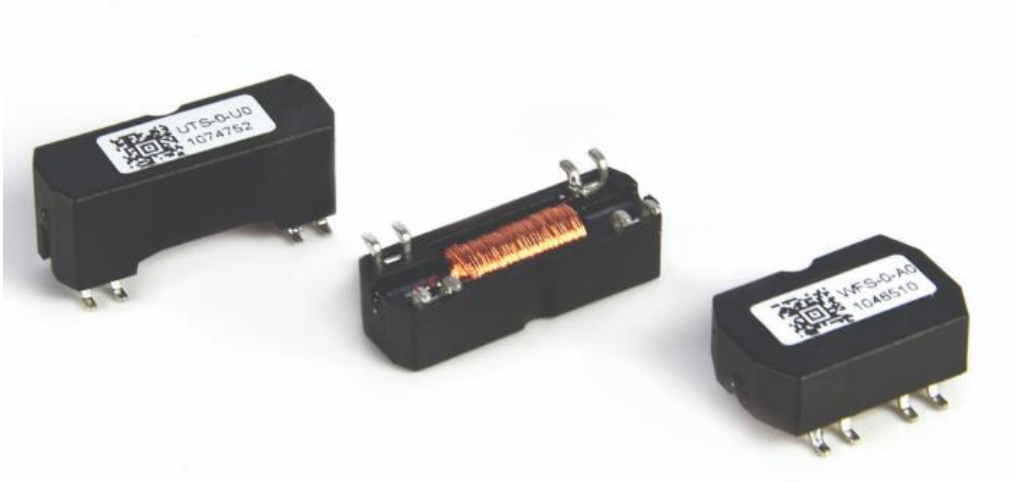


Ilustración 17 - Sensor Magnético Tipo Wiegan

Sensores Inductivos:

Estos sensores al igual que los capacitivos están basados en un circuito resonante, un rectificador y un amplificador de salida. La zona activa está formada por un campo magnético producido por una bobina osciladora que produce una corriente de reposo definida, cuando se acerca un elemento conductor se produce una serie de corrientes parásitas que debilitan la corriente del oscilador produciendo la conmutación.

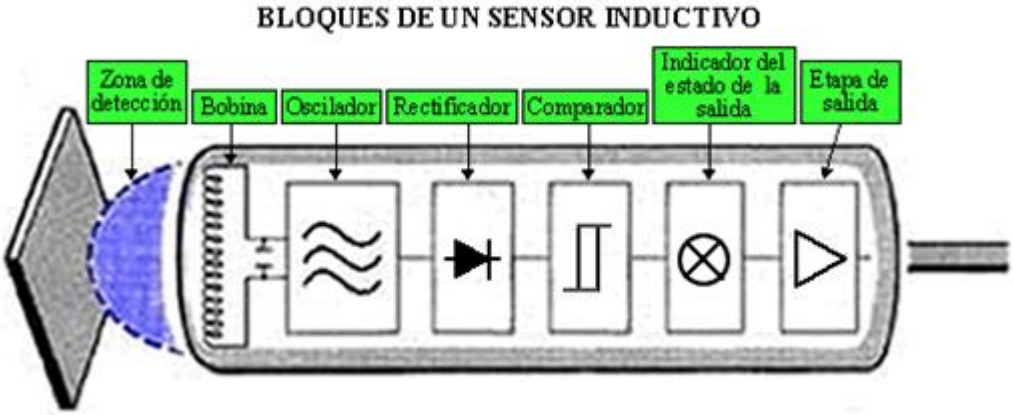


Ilustración 18 - Diagrama de Bloques de un Sensor Inductivo

Sensores Ultrasónicos:

Este tipo de sensores está basado en el principio de reflexión de las ondas acústicas entre un emisor, un objeto y el receptor; generalmente el portador de estas ondas es el aire por lo que es posible analizar el tiempo de retorno para evaluar distancias con gran precisión.

Un sensor de proximidad ultrasónico puede dividirse en tres módulos principales que son, el transductor ultrasónico, la unidad de evaluación y el acondicionador de salida. Generalmente un pulso corto es disparado por el transductor ultrasónico en un rango inaudible entre 30 y 300 KHz, cambia a modo receptor operando como micrófono y un filtro comprueba si la señal recibida corresponde a la emitida por el sensor.

La ventaja principal de los sensores ultrasónicos reside en la posibilidad de detectar diferentes materiales independientemente de la forma, el color o si es sólido o fluido. No se afecta por la humedad, vapores o humo.

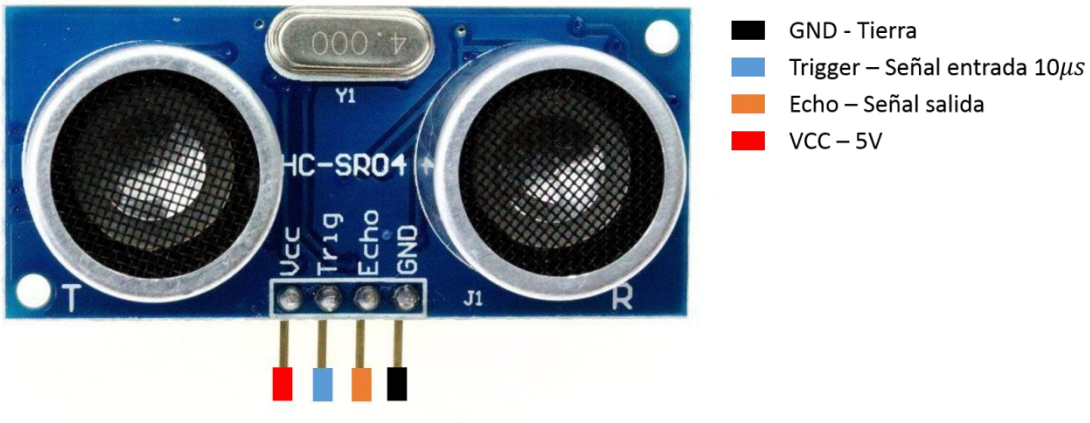


Ilustración 19 - Sensor Ultrasónico HC-SR04 de aplicación en microcontroladores

Sensores Neumáticos:

Los sensores neumáticos detectan la proximidad de objetos mediante chorros de aire sin tener contacto directo al evaluar los cambios de presión para su posterior evaluación. Existen sensores neumáticos de obturación de fuga, sensores neumáticos réflex y barreras de aire.

La presión de Alimentación puede variar pero generalmente se halla entre 0.1 y 8 bar. La señal de salida generada puede variar dependiendo de la presión de alimentación, y la distancia entre la boquilla y el objeto.

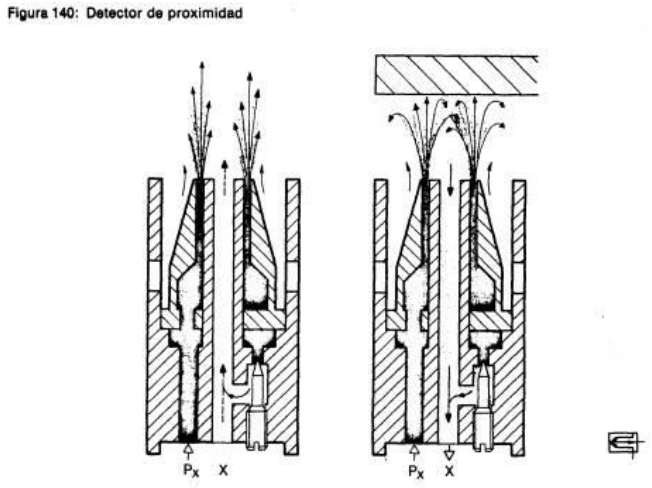


Ilustración 20 - Sensor de Proximidad Neumático

Conversores de Corriente a Voltaje:

En algunos casos, como cuando se requiere realizar el control de motores, resulta más cómodo evaluar señales de voltaje para emitir una posterior respuesta de compensación en un sistema determinado, que realizar una medición directa de la corriente en un momento dado. De igual manera, existen condiciones ambientales como excesivo ruido eléctrico o largas distancias en las que la implementación de este sistema se hace necesaria. Pensando en que el diseño de la plataforma robótica móvil requiere de motores eléctricos para su desplazamiento, se evalúa la posibilidad de implementar esta solución.

Un convertidor de corriente a voltaje es en sí un circuito acondicionador de señal que por medio de la implementación de amplificadores operacionales, transistores y resistencias cambian una señal de corriente a una señal equivalente en voltaje manteniendo la relación con la entrada del sistema.

El esquema más utilizado para realizar esta conversión es el siguiente:

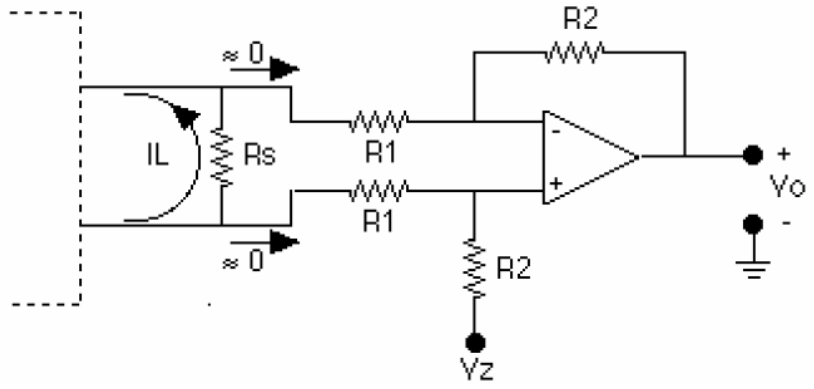


Ilustración 21 - Convertidor de Corriente a Voltaje

En el cual el Voltaje de Salida Vo corresponde a la siguiente ecuación:

$$Vo = Rs * \frac{R2}{R1} * Il + Vz$$

2.2.3.2. Microcontroladores

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico que se compone en su interior básicamente por una unidad de procesamiento, memoria y puertos de entrada y salida.

De acuerdo a su fabricante, sus prestaciones y capacidades pueden encontrarse varias familias que permiten adaptarse a las necesidades de diseño y, debido a su bajo costo presentan una gran alternativa para el control electrónico.

La diferencia de conexión entre los buses de memoria y el procesador dan origen a las dos arquitecturas conocidas hasta hoy, Von Neumann y Harvard, siendo esta última la más empleada hoy en día debido a que posee buses dedicados a diferentes sectores de memoria incrementando el desempeño frente a los Microcontroladores del tipo Von Neumann.

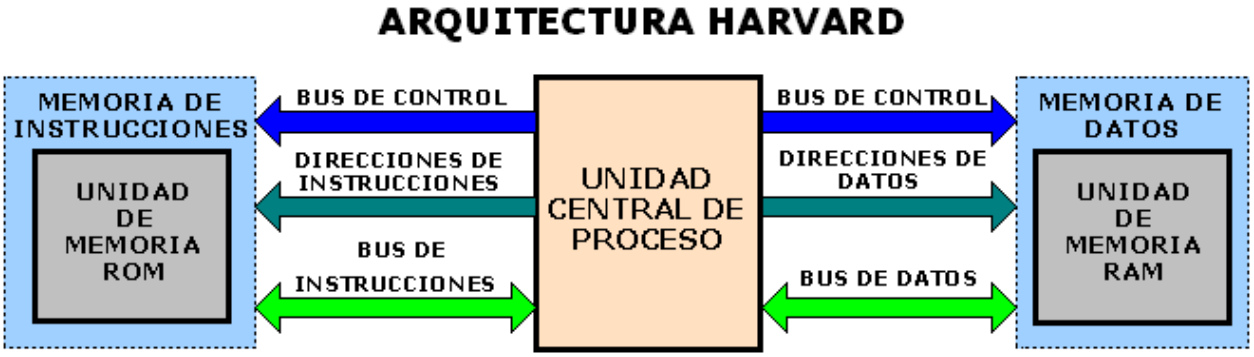


Ilustración 22 - Arquitectura de Microcontroladores Tipo Harvard

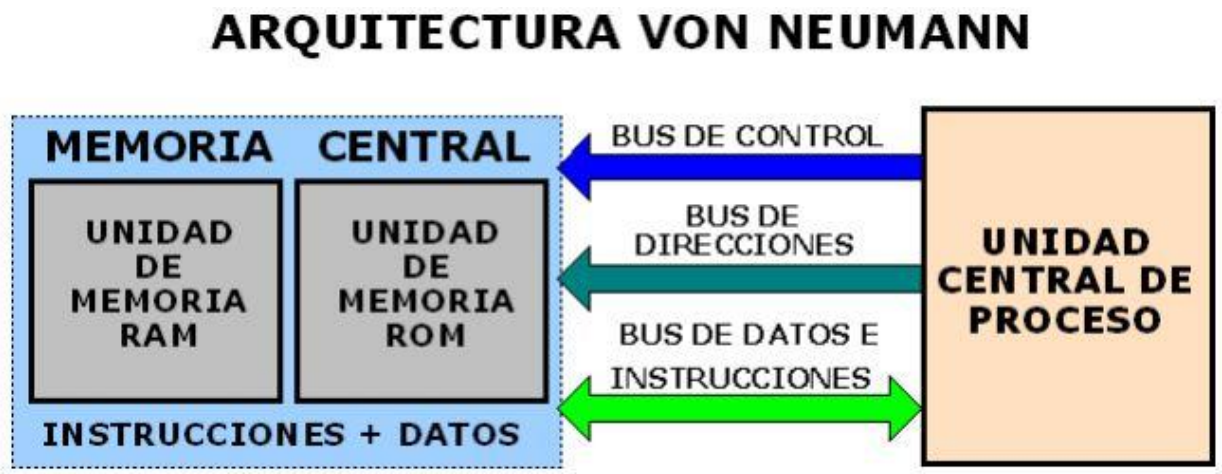


Ilustración 23 - Arquitectura de Microcontroladores Tipo Von Neumann

La Unidad de Control es el núcleo de todo controlador y se encarga de ejecutar las funciones, el control de registros, de los bues y de la unidad aritmético-lógica. Las diferencias en la unidad de control marcan en gran porcentaje las capacidades de los diferentes microcontroladores, como velocidad de ejecución de instrucciones, tipos y cantidad de buses, ciclos e interrupciones entre otras.

Otro elemento que constituye el núcleo del procesador son los registros, los cuales son espacios de memoria volátil donde se almacenan los datos a trabajar en las diferentes operaciones, pueden ser de 2, 4, 8, 16, 32 o 64 bits, lo cual hace referencia a la longitud máxima de la palabra de trabajo, afectando directamente la capacidad de realizar operaciones de diferentes complejidades y la velocidad final de ejecución de instrucciones.

Además de estos dos elementos existe un tercer componente que interviene directamente en el procesamiento de datos conocido como la unidad Aritmético-lógica o ALU, en los microcontroladores actuales es común encontrar más de una ALU con el fin de optimizar las operaciones matemáticas, en casos donde estas unidades llevan un desarrollo más profundo y específico se conocen como coprocesadores matemáticos.

Para finalizar la descripción general es importante resaltar que existen otros elementos que constituyen un microcontrolador y que hacen una diferencia significativa al momento de su selección como son la memoria, los periféricos compuestos por los puertos de entrada y salida, Conversores, temporizadores e interrupciones, así mismo como los puertos de comunicación y salidas PWM.

Microcontroladores Comerciales

Con la implementación del lenguaje C y C++ como herramientas de programación para sistemas embebidos, las opciones comerciales de microcontroladores y placas integradas de microcontroladores se ampliaron significativamente llevando consigo el nacimiento de un debate técnico sobre la viabilidad y la eficiencia de los diferentes sistemas microcontrolados como son PIC, AVR, Motorola Freescale, entre otros. Antes de tomar partido por una de estas alternativas es fundamental conocer los puntos fuertes y débiles de cada uno.

- Microchip Technology tiene en el mercado local el ya muy conocido microcontrolador PIC desde los años 90 y poco a poco ha implementado funcionalidades complejas en su encapsulado como son el control de motores PWM, puertos de comunicación UART y módulos de comunicación serie. Implementa memorias desde 0.5 Kilobytes hasta 32 Kilobytes con instrucciones de hasta 32 bits dependiendo de la familia de microcontrolador.
  Actualmente se pueden encontrar tres gamas de microcontroladores PIC, los básicos (Linebase), los de medio rango (Mid Range) y los de alto desempeño (high performance) como son la familias PIC18 los cuales tienen entre sus miembros encapsulados con módulos de comunicación y protocolos avanzados (USB, Ethernet, Zigbee).

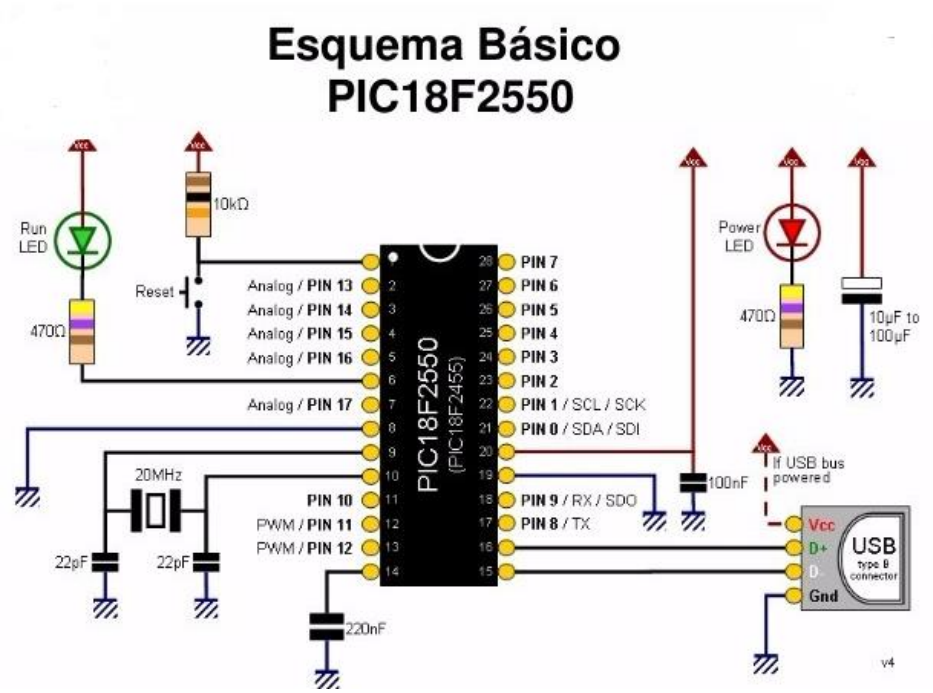


Ilustración 24 - Esquema Básico PIC18F2550

- Los microcontroladores AVR son desarrollados por la compañía Atmel bajo su propia arquitectura la cual se destaca por la sencillez en su programación, motivo por el cual actualmente tienen numerosos seguidores que los consideran como primera opción de desarrollo. Los principales miembros de esta línea son:

  ATxmega: procesadores muy potentes con 16 a 384 kB de memoria flash programable, encapsulados de 44, 64 y 100 pines (A4, A3, A1), capacidad de DMA, eventos, criptografía y amplio conjunto de periféricos con DACs.

  ATmega: microcontroladores AVR grandes con 4 a 256 kB de memoria flash programable, encapsulados de 28 a 100 pines, conjunto de instrucciones extendido (multiplicación y direccionamiento de programas mayores) y amplio conjunto de periféricos.

  ATtiny: pequeños microcontroladores AVR con 0,5 a 8 kB de memoria flash programable, encapsulados de 6 a 20 pines y un limitado set de periféricos.

  AT90USB: ATmega integrado con controlador USB.

  AT90CAN: ATmega con controlador de bus CAN.

Tipos especiales: algunos modelos especiales, por ejemplo, para el control de los cargadores de baterías, pantallas LCD y los controles de los motores o la iluminación.

- La familia Motorola 68HC11 (abreviado HC11 o 6811) es una familia de microcontroladores de Motorola, derivada del microprocesador Motorola 6800. Los microcontroladores 68HC11 son más potentes y costosos que los de la familia 68HC05 y se utilizan en múltiples sistemas embebidos. Siguen la Arquitectura de von Neumann, en la que la memoria de programa, de datos y de entrada/salida se direcciona en un único mapa de memoria.

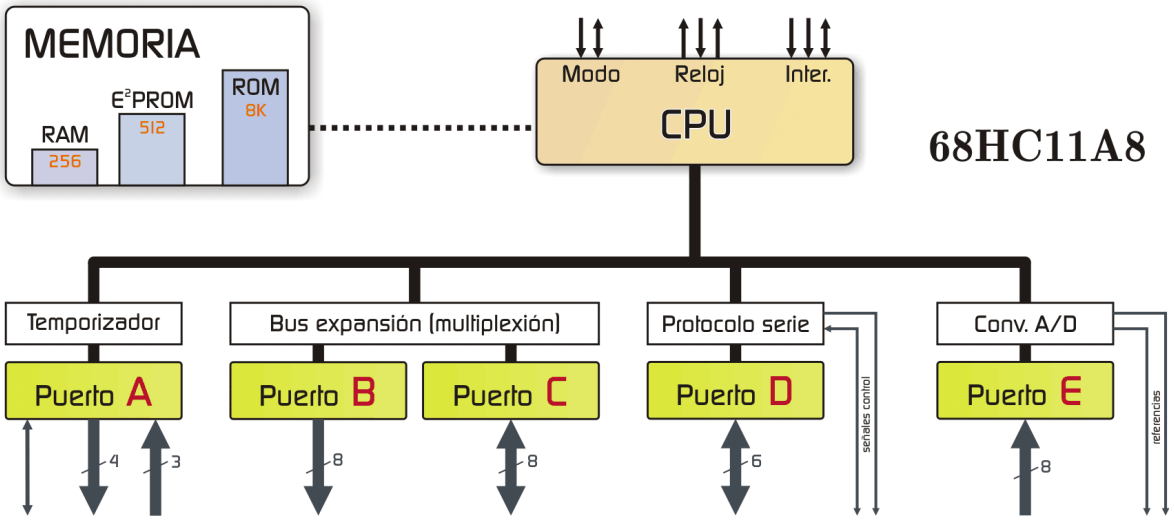


Ilustración 25 - Diagrama de Bloques Microcontrolador Motorola 68HC11

2.2.3.3. Micro-Procesadores

Más allá de los microcontroladores existen circuitos integrados complejos con una capacidad de procesamiento mucho mayor que integran los sistemas informáticos, computadores personales, portátiles, tablets y teléfonos inteligentes; éstos son los microprocesadores, circuitos capaces de ejecutar millones de instrucciones de bajo nivel en cada ciclo de reloj con una o varias unicades de procesamiento de datos, una unidad aritmético lógica (ALU) y co procesadores matemáticos que le permiten llevar a cabo tareas de alta complejidad.

En un microprocesador se puede diferenciar diversas partes:

Encapsulado: es lo que rodea a la oblea de silicio en si, para darle consistencia, impedir su deterioro (por ejemplo, por oxidación por el aire) y permitir el enlace con los conectores externos que lo acoplaran a su zócalo de la placa base.

Memoria caché: es una memoria ultrarrápida que emplea el procesador para tener alcance directo a ciertos datos que «predeciblemente» serán utilizados en las siguientes operaciones, sin tener que acudir a la memoria RAM, reduciendo así el tiempo de espera para adquisición de datos. Todos los micros compatibles con PC poseen la llamada caché interna de primer nivel o L1; es decir, la que está dentro del micro, encapsulada junto a él. Los micros más modernos (Core i3, Core i5, Core i7, etc.) incluyen también en su interior otro nivel de caché, más grande, aunque algo menos rápida, es la caché de segundo nivel o L2 e incluso los hay con memoria caché de nivel 3, o L3.
Coprocesador matemático: unidad de coma flotante. Es la parte del micro especializada en esa clase de cálculos matemáticos, antiguamente estaba en el exterior del procesador en otro chip. Esta parte está considerada como una parte «lógica» junto con los registros, la unidad de control, memoria y bus de datos.
Registros: son básicamente un tipo de memoria pequeña con fines especiales que el micro tiene disponible para algunos usos particulares. Hay varios grupos de registros en cada procesador. Un grupo de registros está diseñado para control del programador y hay otros que no son diseñados para ser controlados por el procesador pero que la CPU los utiliza en algunas operaciones, en total son treinta y dos registros.
Memoria: es el lugar donde el procesador encuentra las instrucciones de los programas y sus datos. Tanto los datos como las instrucciones están almacenados en memoria, y el procesador las accede desde allí. La memoria es una parte interna de la computadora y su función esencial es proporcionar un espacio de almacenamiento para el trabajo en curso.
Puertos: es la manera en que el procesador se comunica con el mundo externo. Un puerto es análogo a una línea de teléfono. Cualquier parte de la circuitería de la computadora con la cual el procesador necesita comunicarse, tiene asignado un «número de puerto» que el procesador utiliza como si fuera un número de teléfono para llamar circuitos o a partes especiales.

Ilustración 26 - Vista de algunos microprocesadores actuales.

2.2.3.4. Controlador Lógico Programable “PLC”

Otra de las opciones disponibles para realizar el control de procesos es implementar un PLC, el cual se caracteriza por tener una gran versatilidad en cuanto a las posibilidades de programación, puertos de entrada y salida y, la capacidad de realizar funciones más complejas con menores requerimientos de cableado electrónico y programación en comparación al micro controlador; es importante reconocer que el costo inicial del PLC es mucho mayor pero su comportamiento en la industria es más estable ya que generalmente vienen protegidos contra el ruido eléctrico presente en las plantas.

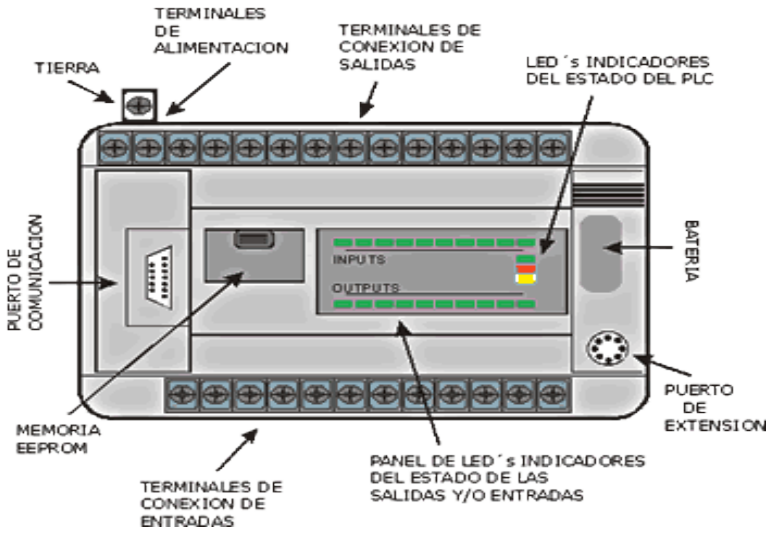


Ilustración 27 - Configuración Básica de un PLC[8]

2.2.3.5. Motores Eléctricos

Se conoce como motor toda máquina capaz de convertir energía en movimiento, los motores eléctricos son por su parte, máquinas que transforman energía eléctrica en energía mecánica rotacional la cual es fácilmente aprovechable en el desplazamiento de cargas, incluyendo la del mismo motor.

Su funcionamiento está basado en la interacción de dos campos magnéticos, los cuales pueden ser producidos por el flujo de corriente o por imanes de campo permanente y sus partes principales son:

[8] ROCATEK S.A.S, ROCKWELL AUTOMATION. ¿Qué es un PLC? http://www.rocatek.com/forum_plc2.php Fecha de Consulta. Noviembre 3 de 2011

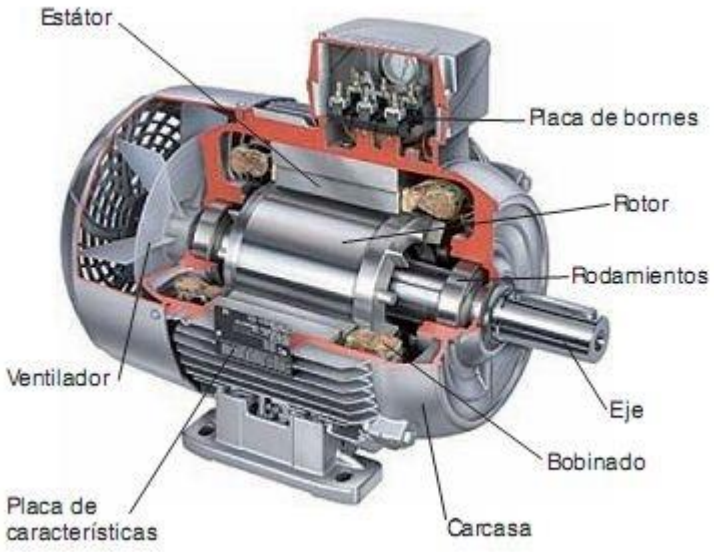


Ilustración 28 - Partes Principales de un Motor Eléctrico

Sin embargo, dependiendo del tipo de corriente que produce el campo éstos motores tendrán diferencias en su constitución y en el modo de operar y controlar su movimiento.

Tipos de motores eléctricos

Los *Motores de Corriente Alterna* [C.A.]: Son los tipos de motores más usados en la industria, ya que estos equipos se alimentan con los sistemas de distribución de energías habituales. En la actualidad, el motor de corriente alterna es el que más se utiliza para la mayor parte de las aplicaciones, debido fundamentalmente a que consiguen un buen rendimiento, bajo mantenimiento y sencillez, en su construcción, sobre todo en los motores asíncronos. Sin embargo los requerimientos de alimentación hacen que no sean viables para aplicaciones móviles.

Los *Motores de Corriente Directa [C.D.] o Corriente Continua [C.C.*]: Se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías. Este tipo de motores debe tener en el rotor y el estator el mismo número de polos y el mismo número de carbones, sus partes son:

- **Carcasa:** La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:
  a) Totalmente cerrada.
  b) Abierta.

c) A prueba de goteo.
d) A prueba de explosiones.
e) De tipo sumergible.

- **Base:** La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos:
  a) Base frontal.
  b) Base lateral.

- **Caja de conexiones:** Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones. La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.

- **Tapas:** Son los elementos que van a sostener en la gran mayoría de los casos a los cojinetes o rodamientos que soportan la acción del rotor.

- **Cojinetes:** También conocidos como rodamientos, contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales:

  a) Cojinetes de deslizamiento: Operan la base al principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa de lubricante entre la barra del eje y la superficie de apoyo.
  b) Cojinetes de rodamiento: Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:
    - Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.
    - Son compactos en su diseño
    - Tienen una alta precisión de operación.
    - No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
    - Se remplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares.

Clasificación de los motores de corriente directa

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma de conexión de las bobinas inductoras e inducidas entre sí:

Motor de excitación independiente: Son aquellos que obtienen la alimentación del rotor y del estator de dos fuentes de tensión independientes. Con ello, el campo del estator es constante al no depender de la carga del motor, y el par de fuerza es entonces prácticamente constante. Este sistema de excitación no se suele utilizar

debido al inconveniente que presenta el tener que utilizar una fuente exterior de corriente.

Ilustración 29 - Esquema Motor de Exitación Independiente

Motor serie: Los devanados de inducido y el inductor están colocados en serie y alimentados por una misma fuente de tensión. En este tipo de motores existe dependencia entre el par y la velocidad; son motores en los que, al aumentar la corriente de excitación, se hace disminuir la velocidad, con un aumento del par.

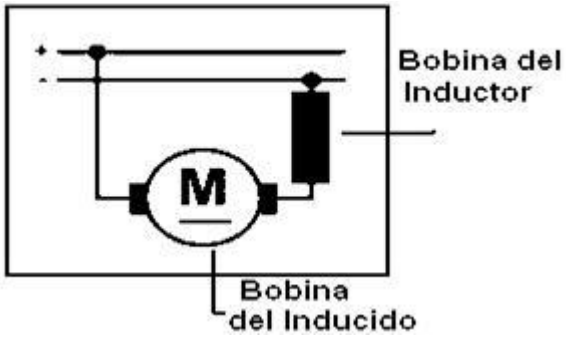


Ilustración 30 - Esquema Motor Serie

Motor de derivación: El devanado inducido e inductor están conectados en paralelo y alimentados por una fuente común. También se denominan máquinas *shunt*, y en ellas un aumento de la tensión en el inducido hace aumentar la velocidad de la máquina.

Ilustración 31 - Esquema Motor Shunt

Motor compuesto: También llamados *compound*, en este caso el devanado de excitación tiene una parte de él en serie con el inducido y otra parte en paralelo. El

arrollamiento en serie con el inducido está constituido por pocas espiras de gran sección, mientras que el otro está formado por un gran número de espiras de pequeña sección. Permite obtener por tanto un motor con las ventajas del motor serie, pero sin sus inconvenientes. Sus curvas características serán intermedias entre las que se obtienen con excitación serie y con excitación en derivación.

Existen dos tipos de excitación compuesta. En la llamada *compuesta adicional* el sentido de la corriente que recorre los arrollamientos serie y paralelo es el mismo, por lo que sus efectos se suman, a diferencia de la compuesta diferencial, donde el sentido de la corriente que recorre los arrollamientos tiene sentido contrario y por lo tanto los efectos de ambos devanados se restan.

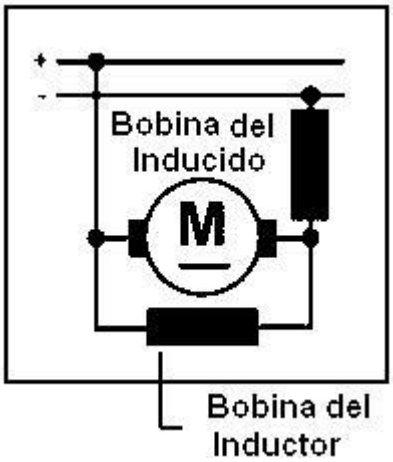


Ilustración 32 - Esquema Motor Compound

Los motores eléctricos experimentan distintos tipos de corriente, que fundamentalmente son: corriente nominal, corriente de vacío, corriente de arranque y corriente a rotor bloqueado.

Corriente nominal: En un motor, el valor de la corriente nominal es la cantidad de corriente que consumirá el motor en condiciones normales de operación.
Corriente de vacío: Es la corriente que consumirá el motor cuando no se encuentre operando con carga y es aproximadamente del 20% al 30% de su corriente nominal.
Corriente de arranque: Todos los motores eléctricos para operar consumen un excedente de corriente, mayor que su corriente nominal, que es aproximadamente de dos a ocho veces superior.
Corriente a rotor bloqueado: Es la corriente máxima que soportara el motor cuando su rotor esté totalmente detenido.

2.2.4. Fundamentos Mecánicos

De forma general, todos los elementos mecánicos funcionales se encuentran sometidos a fuerzas internas y externas las cuales tienden a deformarlos; los efectos de estas cargas en ingeniería se estudian en la rama conocida como Resistencia de Materiales, de acuerdo a datos experimentales conocidos de materiales determinados y su comportamiento frente a diferentes tipos de cargas se formulan teorías cuya aplicación permite realizar diseños, los cuales responden a criterios establecidos, cuyo objetivo es garantizar que no se producirán fallas súbitas durante su funcionamiento y que sus costos serán justificados. Para el desarrollo del proyecto se hizo necesaria la revisión y aplicación de los siguientes conceptos y teorías:

Esfuerzo

Se conoce como *esfuerzo* es la resistencia que ofrece un área unitaria (A) del material del que está hecho un elemento para una carga externa aplicada (fuerza, F):

$$Esfuerzo = \frac{Fuerza}{\text{Área}}$$

En algunos casos, como en el esfuerzo normal directo, la fuerza aplicada se reparte uniformemente en la totalidad de la sección transversal del elemento; en estos casos el esfuerzo puede calcularse con la simple división de la fuerza total por el área de la parte que resiste la fuerza, y el nivel del esfuerzo será el mismo en un punto cualquiera de una sección transversal cualquiera. En otros casos, como en el esfuerzo debido a flexión, el esfuerzo variará en los distintos lugares de la misma sección transversal, entonces el nivel de esfuerzo se considera en un punto.

Dependiendo de la forma cómo actúen las fuerzas externas, los esfuerzos y deformaciones producidos pueden ser axiales, biaxiales, triaxiales, por flexión, por torsión, o combinados, como se muestra en las figuras a continuación:

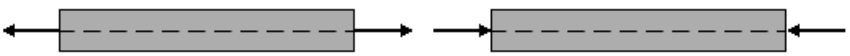


Ilustración 33 - Esfuerzo Axial

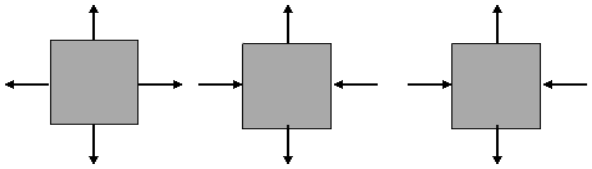


Ilustración 34 - Esfuerzo Biaxial

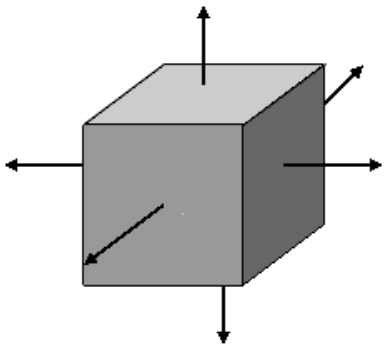


Ilustración 35 - Esfuerzo Triaxial

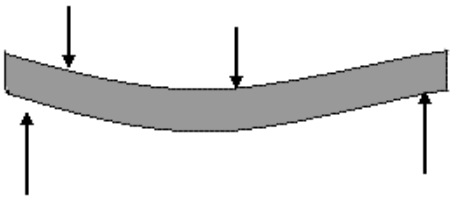


Ilustración 36 - Esfuerzo y Deformación por Flexión

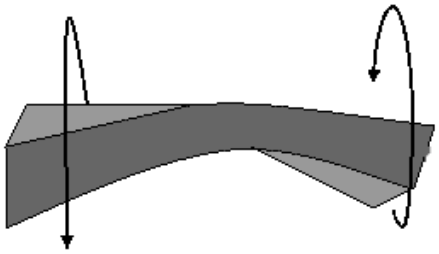


Ilustración 37 - Esfuerzo y deformación por torsión

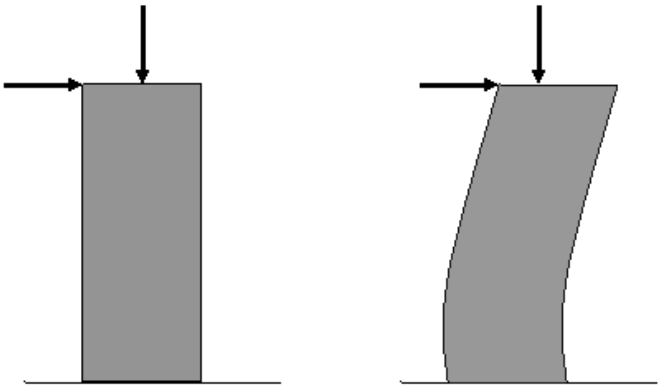


Ilustración 38 - Esfuerzo y deformación combinados

Dependiendo de que la fuerza interna actúe perpendicularmente o paralelamente al área del elemento considerado los esfuerzos pueden ser normales (fuerza perpendicular al área), cortantes (tangenciales, debido a una fuerza paralela al área).

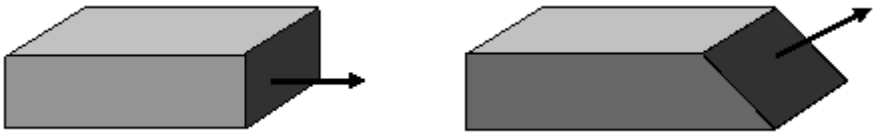


Ilustración 39 - Esfuerzo Normal

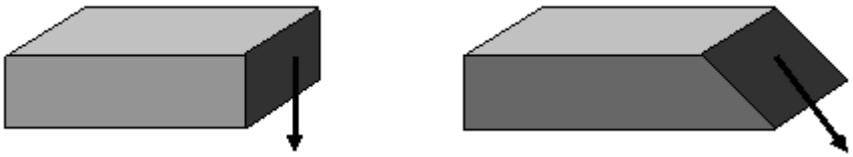


Ilustración 40 - Esfuerzo Cortante

Análogamente a lo que sucede con el esfuerzo normal, el esfuerzo cortante se define como la relación entre la fuerza y el área a través de la cual se produce el deslizamiento, donde la fuerza es paralela al área. El esfuerzo cortante se calcula como:

$$\tau = \frac{f}{A}$$

Donde:

$\tau = EsfuerzoCortante$

$F = FuerzaAplicada$

$A = Áreasometiaalesfuerzo$

Las deformaciones debidas a los esfuerzos cortantes, no son ni alargamientos ni acortamientos, sino deformaciones angulares, como se muestra en la siguiente ilustración:

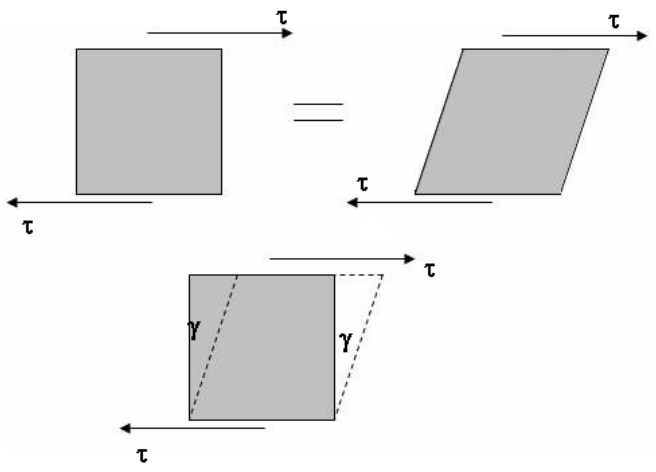


Ilustración 41 - Deformación por Cortante

Como resultado de estos esfuerzos en los materiales se produce un fenómeno conocido como deformación, la cual en caso de ser excesiva puede comprometer su funcionalidad y puede ser tanto de alargamiento o acortamiento, dependiendo del efecto de la fuerza sobre el punto.

Una forma de comparar la deformación entre dos elementos, es expresarla como una deformación porcentual, o en otras palabras, calcular la deformación que sufrirá una longitud unitaria del material, la cual se denomina deformación unitaria *e*. La deformación unitaria se calcula de la siguiente forma:

$$e = \frac{d}{l_0}$$

Donde:

$e = DeformaciónUnitaria$

$d = deformaciónTotal$

$l_0 = Longitudinicialdelelemento$

La relación del comportamiento de los materiales frente a las cargas desde el punto de vista del esfuerzo y la deformación son una de las herramientas más significativas en la elaboración de diseños ya que permiten predecir por medio de modelos matemáticos los límites dentro de los cuales es seguro aplicar una carga determinada a un elemento; este comportamiento diferencia mecánicamente los materiales en frágiles y dúctiles.

Los materiales frágiles son aquellos cuya deformación al soportar una carga es muy pequeña antes de presentar una falla como en el caso del hierro, cerámicas o vidrio. En cambio los materiales dúctiles como los aceros tienen un comportamiento elástico durante la carga logrando retomar su forma original al retirar la carga, cuando la carga sobrepasa cierto límite este material se deforma considerablemente, lo que se conoce como zona plástica y finalmente falla; gráficamente el diagrama Esfuerzo-Deformación de un material dúctil tiene la forma que se muestra a continuación:

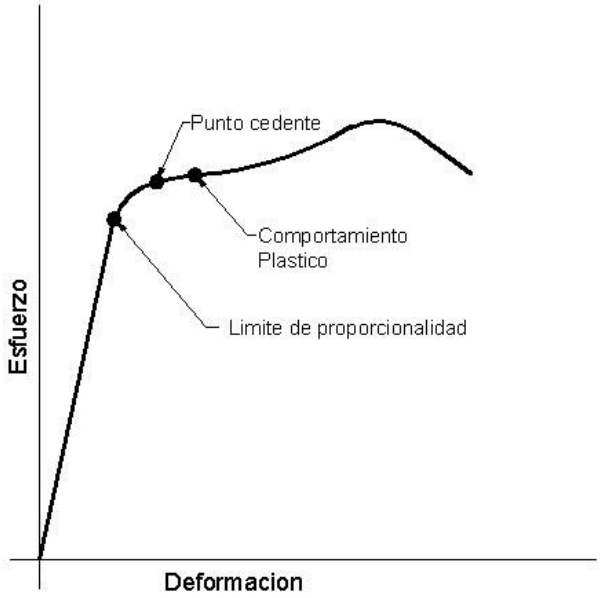


Ilustración 42 - Relación Esfuerzo vs. Deformación

La pendiente de la recta, se conoce como el módulo de elasticidad, y en los ensayos con fuerzas tensoras, se conoce como Módulo de Young, en honor de Thomas Young. [9]

Sistemas de Movimiento Lineal

Dentro de las hipótesis de diseño se tuvo en cuenta la necesidad de partes móviles, por este motivo fue indispensable el repaso de diferentes mecanismos de movimiento para este fin, el primero a considerar fue el mecanismo Piñón-Cremallera[10].

---

[9]SALAZAR T., J.E.; "Mecánica básica para estudiantes de Ingeniería". Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, 2001, 190p.

[10]Imagen y fórmulas tomadas de: Portal Web MecanESO. Sección de Máquinas y Mecanismos http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cremallera-pinon.htm

Este mecanismo permite transformar un movimiento rotacional en un movimiento lineal por medio de un piñón y una barra dentada llamada cremallera. Es un sistema reversible por lo que el movimiento lineal también puede ser convertido en movimiento giratorio del mismo modo, sin ser esta su aplicación más difundida. Su construcción puede proveer de una gran precisión por lo que es muy utilizado en tareas que demanden exactitud y confiabilidad importante.

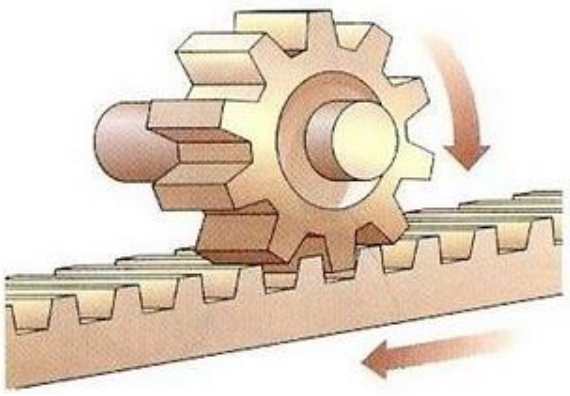


Ilustración 43 - Mecanismo Piñón-Cremallera

La relación de movimiento entre el piñón y la cremallera está dada por el número de dientes del piñón y los dientes por centímetro de la cremallera, de forma que:

Siendo,

$d = Distancia\ recorrida\ por\ la\ cremallera\ en\ cms.$
$z = Número\ de\ Dientes\ del\ Piñón.$
$n = Número\ de\ diéntes\ por\ centímetro\ en\ la\ cremallera.$
$V = Velocidad\ de\ desplazamiento\ de\ la\ Cremallera.$
$N = Velocidad\ de\ giro\ del\ piñón\ en\ rpm.$

$$d = \frac{z}{n}$$

$$V = N * \left(\frac{z}{n}\right)$$

Otro mecanismo de transformación de movimiento rotacional de interés para el desarrollo del proyecto es el conjunto tuerca-tornillo, éste sistema es empleado cuando la aplicación requiere una fuerza de apriete considerable por lo que su mayor aplicación está en la realización de uniones desmontables. Como mecanismo de desplazamiento se obtiene una reducción significativa entre el movimiento rotacional y lineal, ya que el elemento móvil se desplaza solamente longitudinalmente la distancia de separación de fletes de la rosca, llamada Paso; además, este movimiento no es reversible por lo que la carga difícilmente puede producir un movimiento rotacional por su propio efecto.

Los elementos que definen la rosca se pueden observar a continuación:[11]

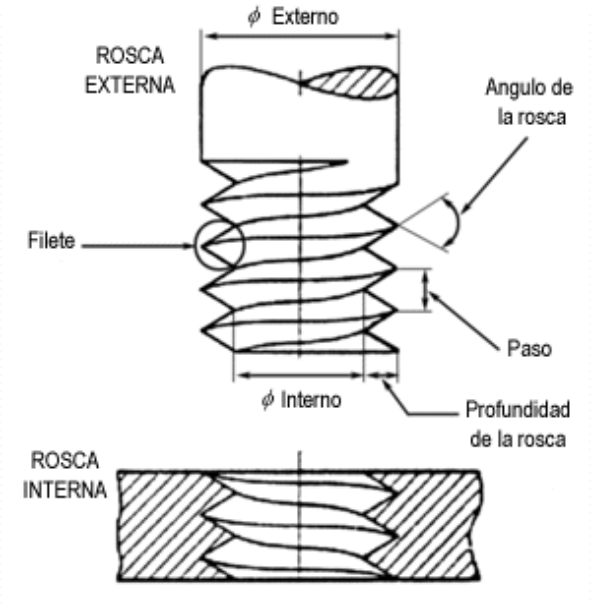


Ilustración 44 - Terminología de la Rosca

Rosca: es un filete continuo de sección uniforme y arrollada como una elipse sobre la superficie exterior e interior de un cilindro.

Rosca externa: es una rosca en la superficie externa de un cilindro.

[11]FAIRES V. Diseño de Elementos de Máquinas. Uniones con Tornillos y Remaches. Montaner y Simón S.A. Barcelona. 1970.

Rosca Interna: es una rosca tallada en el interior de una pieza, tal como en una tuerca.

Diámetro Interior: es el mayor diámetro de una rosca interna o externa.

Diámetro del núcleo: es el menor diámetro de una rosca interna o externa.

Diámetro en los flancos (o medio): es el diámetro de un cilindro imaginario que pasa por los filetes en el punto en el cual el ancho de estos es igual al espacio entre los mismos.

Paso: es la distancia entre las crestas de dos filetes sucesivos. Es la distancia desde un punto sobre un filete hasta el punto correspondiente sobre el filete adyacente, medida paralelamente al eje.

Avance: es la distancia que avanzaría el tornillo relativo a la tuerca en una rotación. Para un tornillo de rosca sencilla el avance es igual al paso, para uno de rosca doble, el avance es el doble del paso, y así sucesivamente.

Los elementos que constituyen este sistema son como mínimo una tuerca y un tornillo, el cual cuando no presenta desplazamiento ni cabeza puede llamarse también husillo. Existen dos configuraciones posibles para este sistema, la primera es en la cual el tornillo se encuentra fijo, sin desplazamiento lineal y su rotación produce un desplazamiento de la tuerca y el caso inverso en el que la tuerca es fija y el movimiento rotacional relativo produce un desplazamiento longitudinal del tornillo como en el caso de las presas mecánicas. Dependiendo de la aplicación existen diferentes tipos de rosca estándar a utilizar, en los casos de uniones la más utilizada es la rosca métrica y la rosca en V, en los casos de transmisión de potencia suelen utilizarse roscas cuadradas, tipo Acme, trapezoidal o de bolas.

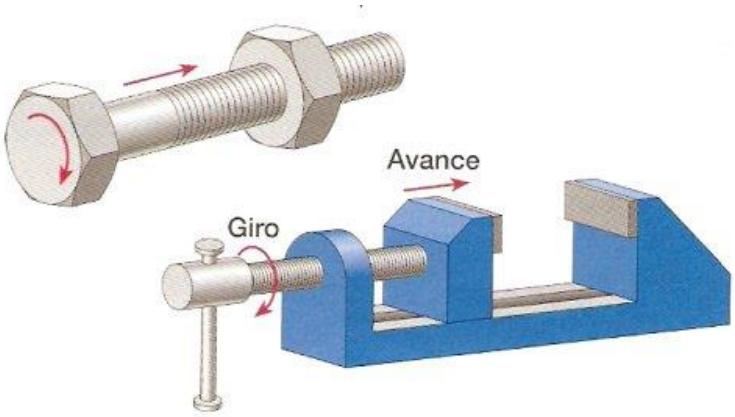


Ilustración 45 - Prensa Mecánica, Tuerca-Husillo

Conociendo las características de la rosca es posible determinar los desplazamientos del elemento móvil fácilmente aplicando las siguientes ecuaciones:

La longitud de avance se expresa como:

$$L = p * N$$

La velocidad de avance se puede determinar a partir de la ecuación:

$$A = p * n$$

$Siendo$:
$L = Longitud\ de\ Avance$
$N = Número\ de\ Vueltas$
$A = Velocidad\ de\ Avance.$
$p = Paso\ de\ Rosca.$
$n = Velocidad\ de\ Giro\ en\ rpm.$

Sistemas de Transmisión de Movimiento Rotacional

Es pertinente señalar que el desplazamiento del robot de inspección es cuestión de interés fundamental en el desarrollo del proyecto, motivo por el cual se deben conocer opciones de sistemas mecánicos aplicables para estas tareas, en primer lugar se estudiarán los sistemas de engranajes, seguidos por la transmisión por cadenas y correas flexibles, tratando de aportar los parámetros necesarios para una selección técnica y bien informada de las opciones a aplicar.

Engranajes:

Los sistemas de transmisión de potencia por medio de engranajes son muy utilizados en la industria debido a su versatilidad ya que permite incrementar o disminuir la velocidad de giro, transmitir potencias significativas y eliminan el deslizamiento. De acuerdo a la forma de los engranajes tienen aplicaciones específicas y proporcionan diferentes posibilidades.

Los engranajes rectos, componen el mecanismo más sencillo que puede estar compuesto por un piñón y una corona, en el cual, por medio de interferencia mecánica entre los dientes, se transmite la potencia; es posible acoplar dentro de un sistema más de un par de engranajes de acuerdo a los requerimientos específicos de diseño caso en el cual se denomina tren de engranajes. Existen diferentes configuraciones de estos engranajes desarrollados de acuerdo a su tipo de aplicación, como son los engranajes planetarios para la transmisión de altos torques, engranajes cónicos para transmitir movimiento rotacional entre ejes cruzados, helicoidales de menor ruido y mayor superficie de contacto o mecanismos sin fin-corona, entre otros.

Ilustración 46 - Tipos de Engranajes.

La principal ventaja de la transmisión por trenes de engranajes es la exactitud en las relaciones de transmisión, pues estas dependen de la construcción de cada par impulsor-impulsado, la posibilidad de transmitir torques significativos y la anulación del deslizamiento, siempre y cuando la necesidad justifique los costos de mecanizado ya que su fabricación resulta más costosa que la implementación de otros sistemas.

Transmisión por Cadena de Rodillos:

Este mecanismo está compuesto principalmente por un juego de ruedas dentadas y una cadena cerrada formada por eslabones, ejes y cojinetes, es un sistema empleado con frecuencia cuando existe la necesidad de transmitir potencia a eje paralelos entre los cuales hay una gran distancia; por su construcción permite transmitir movimiento rotacional sin deslizamiento aunque es un sistema ruidoso y que requiere mantenimiento constate para su buen funcionamiento.

Ilustración 47 - Elementos Cadena de Rodillos

Se puede considerar que el sistema de transmisión por cadena de rodillos es una extensión a la transmisión por engranajes ya que la reducción de velocidad obedece al mismo principio de relación de número de dientes y la potencia se transmite del impulsor a la rueda impulsada por medio del empuje de los dientes a través de los eslabones de la cadena.

Transmisión por Correa:[12]

Existe otra posibilidad para la transmisión de movimiento rotacional entre dos ejes distantes que se conoce como transmisión polea-correa, a diferencia de la transmisión por piñón-cadena, la transmisión por correa se basa en la fuerza de fricción para transmitir la potencia entre dos ruedas acanaladas que se ajustan al perfil del elemento de transmisión, es decir, la correa.

Los parámetros geométricos básicos de un mecanismo simple de polea-correa son los siguientes:

[12]Dr. Ing. GONZALEZ R. Gonzalo, Profesor Principal de Elementos de Máquinas. Apuntes Elaborados para la asignatura Componentes Mecánicos de la Maestría de Diseño Mecánico de la Facultad de Ingeniería Mecánica del Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría. Ciudad Habana, Cuba.

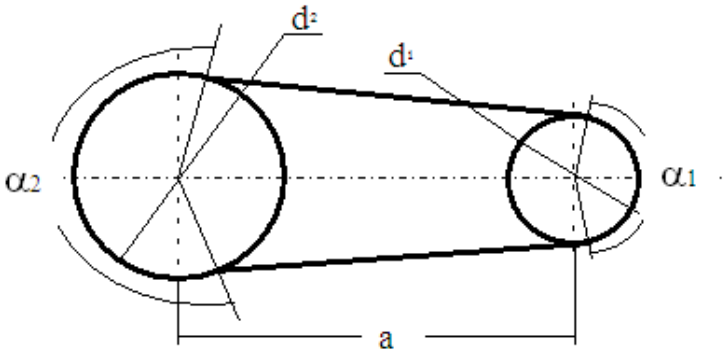


Ilustración 48 - Parámetros Geométricos Transmisión por Correa

Donde:

$1. Polea\ Menor$
$2. Polea\ Mayor$
$\propto_1. Ángulo\ de\ Contacto\ Polea\ Menor$
$\propto_2. Ángulo\ de\ Contacto\ Polea\ Mayor$
$a. Distancia\ entre\ Centros$
$d_1. Diámetro\ polea\ Menor.$
$d_2. Diámetro\ polea\ Mayor.$

Cabe resaltar que existen diversos factores que afectan la capacidad de transmisión de la potencia rotacional entre las poleas que constituyen este mecanismo como es, el tensado, ángulo de contacto, coeficiente de rozamiento y el perfil de la correa.

La correa como elemento de transmisión puede tener una sección transversal diferente dependiendo del tipo de aplicación y requerimientos de diseño, estos perfiles son:

- Correas planas.
- Correas trapezoidales o en V.
- Correas redondas.
- Correas eslabonadas.
- Correas dentadas.
- Correas estriadas o Poly V.

La flexibilidad de la correa le da la posibilidad a este mecanismo de tomar diferentes formas en cuanto a la ubicación de los ejes de las poleas conductora y conducida así como a la cantidad de poleas a incorporar dentro de un mismo sistema de transmisión. De acuerdo a la ubicación de sus ejes las posibilidades son:

Transmisión por correa abierta.

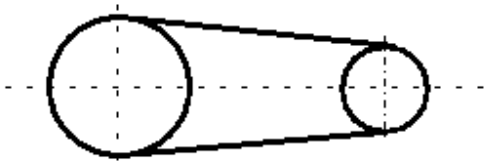


Ilustración 49 -Transmisión por correa abierta.

Es la posibilidad más simple, empleada en casos donde los ejes se encuentran paralelos y se requiere mantener el sentido de giro; la capacidad de transmisión de potencia depende en gran parte por el diámetro de la polea menor y su respectivo ángulo de contacto.

Transmisión por correa cruzada.

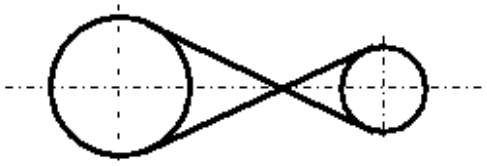


Ilustración 50 - Transmisión por correa cruzada.

Empleada también en ejes paralelos es la solución práctica cuando se requiere invertir el sentido de giro en la polea conducida, debido a la alternancia de la flexión en la correa y al rozamiento de ésta en la sección de cruce tiene un mayor desgaste y requiere de una distancia de centros mínima para su funcionamiento.

Transmisión por correa semi-cruzada.

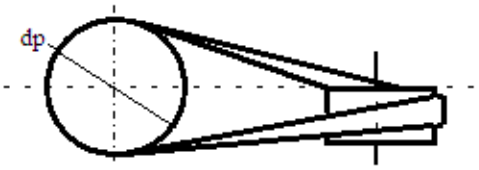


Ilustración 51 - Transmisión por correa semi-cruzada.

Es una variación del mecanismo de transmisión de polea cruzada donde los ejes se cortan transversalmente, requiere una distancia de centros mayor que cualquiera de los otros montajes para evitar que la correa salte durante el funcionamiento.

Transmisión por correa con rodillo tensor exterior.

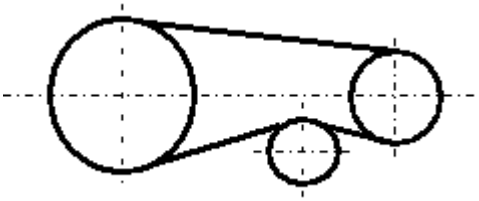


Ilustración 52 - Transmisión por correa con rodillo tensor exterior.

Esta disposición es empleada en casos en los cuales se requiere incrementar el ángulo de contacto en las poleas y no es posible variar los diámetros o distancias de centro.

Transmisión por correa con rodillo tensor interior.

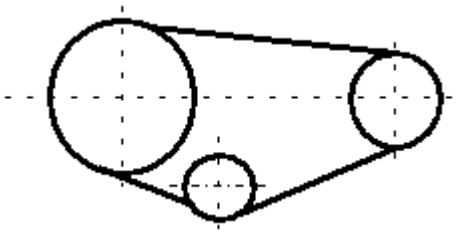


Ilustración 53 - Transmisión por correa con rodillo tensor interior.

En casos en los que se requiere incrementar la tensión de la correa y la distancia entre centros debe permanecer fija se puede emplear este mecanismo con rodillo

tensor interior, siempre y cuando exista un margen que permita disminuir el ángulo de contacto con el fin de incrementar la vida útil de la correa al mantener la flexión normal.

Transmisión por correa con múltiples poleas.

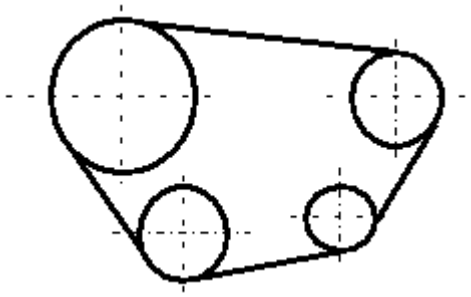


Ilustración 54 - Transmisión por correa con múltiples poleas.

Este mecanismo es empleado para transmitir potencia desde una polea conductora hacia varias conducidas de ejes paralelos; puede ser de contacto interior, exterior o combinado en casos donde el perfil de la correa sea simétrico.

2.2.5. Grado de protección IP[11]

El grado de protección IP hace referencia a la norma internacional CEI 60529 Degrees of Protection utilizado con mucha frecuencia en los datos técnicos de equipamiento eléctrico o electrónico, en general de uso industrial como sensores, medidores, controladores, etc. Especifica un efectivo sistema para clasificar los diferentes grados de protección aportados a los mismos por los contenedores que resguardan los componentes que constituyen el equipo.

Este estándar ha sido desarrollado para calificar de una manera alfa-numérica a equipamientos en función del nivel de protección que sus materiales contenedores le proporcionan contra la entrada de materiales extraños. Mediante la asignación de diferentes códigos numéricos, el grado de protección del equipamiento puede ser identificado de manera rápida y con facilidad.

De esta manera, por ejemplo, un grado de protección IP67 indica lo siguiente:

Las letras «IP» identifican al estándar (del inglés: Ingress Protection).

El valor «6» en el primer dígito numérico describe el nivel de protección ante polvo, en este caso: «El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia».

El valor «7» en el segundo dígito numérico describe el nivel de protección frente a líquidos (normalmente agua), en nuestro ejemplo: «El objeto debe resistir (sin filtración alguna) la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos».
Como regla general se puede establecer que cuando mayor es el grado de protección IP, más protegido está el equipamiento.

Actualmente la mayoría de los sensores inductivos, capacitivos y fotoeléctricos que se comercializan en el mercado tienen un nivel de protección mínimo de IP67, los cuales los hacen aptos para soportar la mayoría de los ambientes agresivos que se dan en la industria.

Primer dígito (IP [X] [ ])

La norma CEI 60529 establece para el primer dígito de que el equipo a ser certificado debe cumplir con alguna de las siguientes condiciones.

Tabla 4 - Protección IP pasa Sólidos

Nivel	Tamaño del objeto entrante	Efectivo contra
0	—	Sin protección
1	<50 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 50 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
2	<12.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 12,5 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
3	<2.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 2,5 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
4	<1 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 1 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
5	Protección contra polvo	La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipamiento.
6	Protección fuerte contra polvo	El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia

Segundo dígito (IP - [ ] [X])

La norma CEI 60529 establece para el segundo dígito que el equipo a ser certificado debe cumplir con alguna de las siguientes condiciones

Tabla 5 - Protección IP para Líquidos

Nivel	Protección frente a	Método de prueba	Resultados
0	Sin protección.	Ninguno	El agua entrará en el equipamiento en poco tiempo.
1	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200 mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm^3 por minuto)
2	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm^3 por minuto). Dicha prueba se realizará cuatro veces a razón de una por cada giro de 15° tanto en sentido vertical como horizontal, partiendo cada vez de la posición normal de trabajo.
3	Agua nebulizada. (spray)	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 11 litros por minuto y a una presión de 80-100 kN/m^2 durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
4	Chorros de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100 kN/m^2 durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
5	Chorros de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30 kN/m^2 durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia no menor de 3 metros.
6	Chorros muy potentes de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión de 100 kN/m^2 durante no menos de 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
7	Inmersión completa en agua.	El objeto debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.	No va a entrar agua.
8	Inmersión completa y continua en agua.	El equipamiento eléctrico / electrónico debe soportar (sin filtración alguna) la inmersión completa y continua a la profundidad y durante el tiempo que especifique el fabricante del producto con el acuerdo del cliente, pero siempre que resulten condiciones más severas que las especificadas para el valor 7.	No va a entrar agua
9K	Potentes chorros de agua a alta temperatura	Protegido en contra de chorros de corto alcance a alta presión y de alta temperatura.	Duración del Test: Volumen de agua: 14–16 litros por minuto Presión: [8000–10000 kPa / 80–100 Bar] distancia de 0.1–0.15 m Temperatura del agua: 80 °C

El nivel IPx9K es definido en la estándar alemán DIN 40050-9, y no en la CEI 60529.

Estándar DIN 40050-9 - IP69K

El estándar alemán DIN 40050-92 extiende IEC 60529. El mismo ha sido pensado para equipamiento eléctrico o electrónico en vehículos de carretera, sometidos a altas presiones y temperaturas y en general para procesos donde los mismos están sometidos a ataque de líquidos y químicos.

Los contenedores de los equipos no sólo deben soportar los grados de protección IP6X con holgura, sino que además deben poder ser capaces de soportar el lavado de los mismos con agua y limpiadores industriales.

El proceso de prueba para que un equipamiento cumpla con la norma DIN 40050-9 establece que el mismo tiene que estar sometido a chorros de agua con un caudal de entre 14 y 16 litros por minuto, a 80℃ de temperatura, a una presión de entre 8 y 10 Mpa, a una distancia de entre 10 y 15 cm. Además, los chorros deben ser lanzados desde cuatro diferentes posiciones respecto de la horizontal: 0°, 30°, 60° y 90°, mientras el equipamiento gira a 5 rpm sobre su propio eje durante al menos 12 segundos por cada una de las posiciones.

3. Diseño metodológico

3.1. Metodología

El desarrollo de este proyecto corresponde al ámbito empírico-analítico debido a que se busca, a partir de la aplicación de los conocimientos de la ingeniería Electrónica, la transformación del mundo material contrastando continuamente los modelos teóricos y simulaciones computacionales con la experimentación para dar solución al problema planteado.

La información necesaria para el desarrollo del proyecto se recolectará por medio de consulta bibliográfica, consulta en línea y visitas de campo en conjunto con la empresa Hydrotech S.A.S. como consta en el Acta Protocolaria de Pasantía de donde se obtendrán bases de los requerimientos y antecedentes que orientarán el desarrollo del proyecto.

3.2. Hipótesis

En un primer momento se plantea la posibilidad de implementar una plataforma robótica móvil tele-operada por cable cuya estructura sea capaz de resistir el ambiente del interior de las tuberías, desplazarse con facilidad por el terreno húmedo y proteger los componentes electrónicos que lo componen.

El Robot se debe incorporará un mecanismo de traslación robusto y resistente al entorno al cual estará expuesto, una video cámara giratoria, chasis de un material resistente con un brazo estable, el cual sostendrá la cámara giratoria junto con un motor para mover el robot y superar un rango considerable de obstáculos.

4. Desarrollo de Ingeniería

4.1. Funciones y especificaciones de Diseño:

¿Qué debe Hacer?

El Robot debe ser capaz de moverse con holgura dentro de las tuberías de recolección de aguas lluvias portando una cámara para inspección visual por medio de CCTV, la cual deberá tener la movilidad suficiente para reportar el estado general de la tubería, obstrucciones posibles y deterioros internos.

El mando del robot será a distancia por medio de cableado UTP con conexión de la cámara por USB directa al ordenador y su autonomía debe superar la distancia mínima entre colectores para así garantizar que no habrá puntos ciegos en el proceso de inspección.

Especificaciones:

- La operación de la plataforma robótica debe ser simple y no debe requerir de más de un operario.
- Debe tener un tamaño que le permita introducirse por los pozos de inspección y moverse al interior de las tuberías.
- Debe tener un consumo de energía moderado de modo que se logre inspeccionar varios tramos con una sola carga de batería.
- Al ser orientada para operación en entornos húmedos debe poder ser cualificado con el estándar de protección IP 63 como mínimo.
- Debe tener la capacidad de ser actualizada y reprogramada con facilidad para adaptarse a nuevos requerimientos y no caer en la obsolescencia a corto plazo.
- Se debe buscar un balance entre bajos costos de fabricación y confiabilidad.
- Tamaño y peso reducido.
- Aspecto agradable.

4.2. Diseño Mecánico

4.2.1. Diseño del Bastidor.

Mecánicamente se propone el uso de una plataforma robótica de cuatro ruedas, cada una de las cuales será impulsada independientemente por un motor eléctrico DC de escobillas al cual se le aplicará la técnica de tracción diferencial para dirigir su trayectoria.

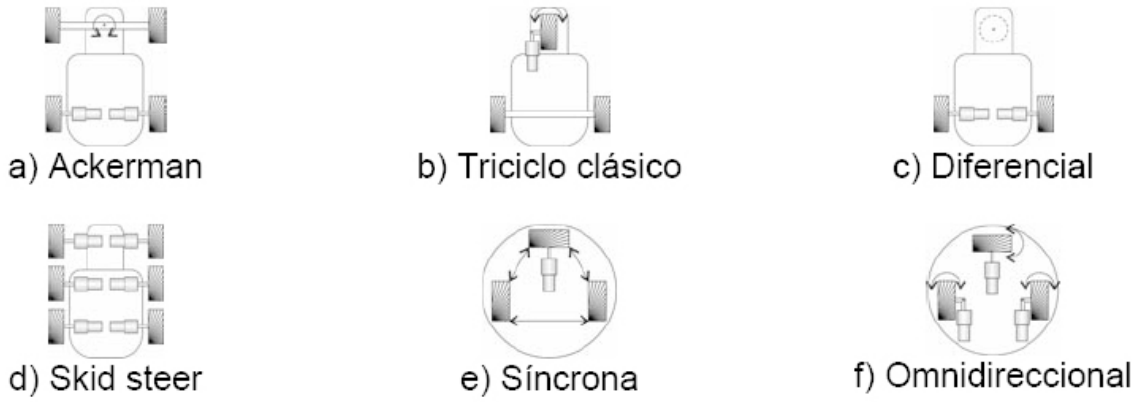


Ilustración 55 - Esquemas de Dirección de Robots Móviles con Ruedas o RMR

Si bien este esquema de tracción en una plataforma de cuatro ruedas impulsadas tiene menor eficiencia que al ser aplicado en una plataforma de tres ruedas con dos ruedas impulsadas y una rueda omnidireccional, para el caso aplicado proporciona una significativa mejora en la tracción del móvil pues la superficie irregular estará acompañada de tramos húmedos que dificultan el desplazamiento, haciendo necesario suplir la pérdida de tracción en una rueda con el impulso de la homóloga.

Ilustración 56 - Robot Móvil Summit XL

Al emplearse motores DC se simplifica significativamente el diseño mecánico dado que la velocidad de salida de las ruedas puede ser fácilmente controlada por medio de PWM y la dirección usando una configuración de puente h asunto que se tratará en el capítulo de diseño electrónico.

Como factor determinante para el diseño mecánico está el tamaño, debe ser fácilmente manipulable por un operario y caber en estructuras de recolección de aguas lluvias cuyos diámetros interiores van desde 200 mm según la normativa expuesta en el marco teórico.

Para facilitar la movilidad en las tuberías se proponen las siguientes dimensiones base:

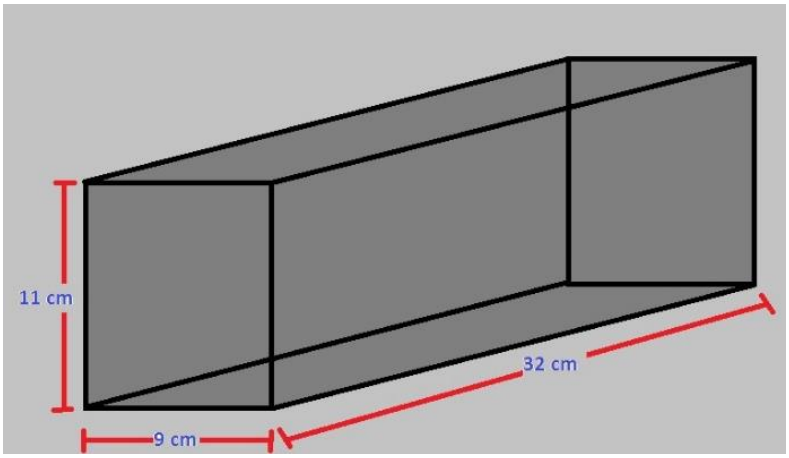


Ilustración 57 - Tamaño Base para la Estructura del Robot

La ubicación de los motores será en los extremos de forma tradicional, sin embargo procurando una mayor movilidad se redondearán las curvas de los extremos de modo que se eviten los atascamientos con rebordes y empalmes de los segmentos de tubería.

Imagen del esquema de bordes redondeados.

Cuanto menor sea el tamaño y el peso total se tendrá una mayor eficiencia de modo que al interior se dejará el espacio suficiente sólo para la batería, circuitería y cámara de inspección por lo que los valores base son de carácter tentativo y podrán ser reducidos de ser logrado un diseño óptimo.

Las tapas de acceso a la circuitería y fijaciones de los elementos deben incorporar un conjunto de empaques diseñado para evitar el acceso de líquidos que puedan deteriorarlo o detener su funcionamiento, teniendo como referencia la normativa IP 63 la cual indica que el polvo no debe ingresar por ninguna circunstancia y tampoco el agua nebulizada en spray.

4.2.2. Diseño del Tren Motriz.

En el mercado se encuentran numerosas opciones de motores DC, pero, debido a que el robot tendrá una carga significativa se debe optar por motores con caja reductora que entreguen un par de torsión de salida superior capaz de mover el robot con facilidad.

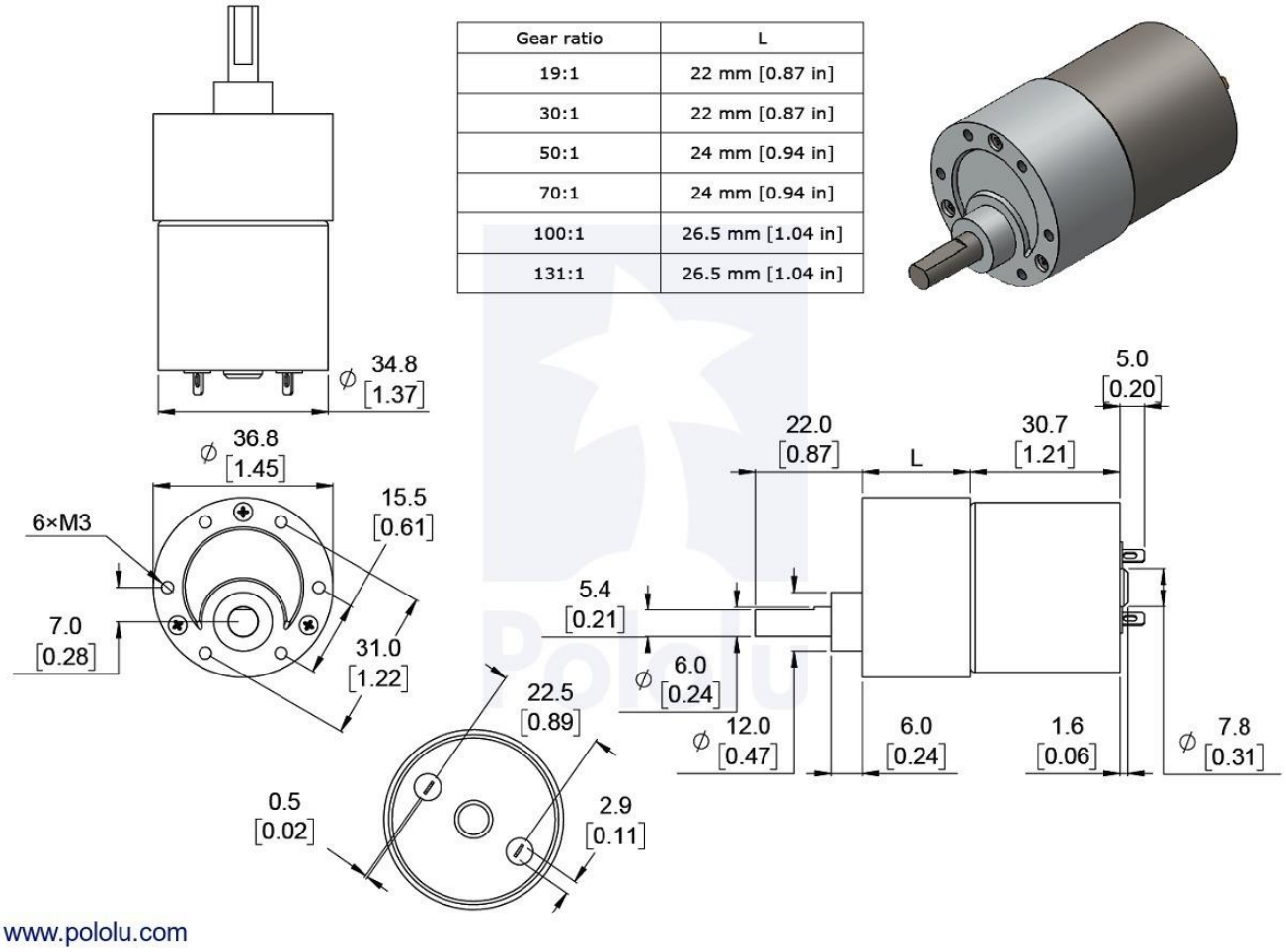
Teniendo en cuenta que la velocidad no es un factor determinante en los requerimientos se selecciona un motor con el mayor torque del mercado:

Ilustración 58 - Motoreductor 12 kg-cm 200 RPM

El motoreductor seleccionado trabaja en un rango de voltaje de 6v. a 32v. con una velocidad nominal en vacío de 200 RPM y un torque máximo, es decir con rotor detenido de 12 Kilogramos fuerza por centímetro.

Características:

- Relación de engranajes: 50:1
- Velocidad libre del motor a 6 V: 100 rpm
- Corriente Libre del motor de 6 V: 250 mA1
- Puesto actual de 6 V: 2500 mA
- Torque máximo a 6V: 85 oz x in
- Velocidad libre del motor a 12 V: 200 rpm
- Corriente libre del motor a 12 V: 300 mA
- Corriente Máxima a 12 V: 5000 mA
- Torque máximo a 12 V: 12 kg-cm(170 oz x in)



De modo que al contar con cuatro motores en iguales condiciones el torque máximo será de 48 Kg*cm.

Tipos de Ruedas

Ilustración 59 - Tipos de Ruedas

Teniendo en cuenta el terreno posiblemente fangoso y con residuos sólidos arrastrados por las aguas pluviales se hace necesario montar la plataforma en ruedas de tipo convencional de alta resistencia y con la capacidad de mantener la tracción en condiciones húmedas por lo que se eligen ruedas todo terreno de gran tamaño como se muestran a continuación:

Ilustración 60 - Ruedas Todoterreno 120 mm - 60 mm

Empleando estas ruedas el tren motriz tendrá la siguiente capacidad de arrastre:

$$Torque = Fuerza * Distancia$$

En este caso el Torque se tomará como el torque máximo del motor y la distancia al punto de aplicación corresponde a la mitad del radio de la rueda, de modo que:

$$12\ Kgf * cm = Fuerza * \frac{120\ mm}{2}$$

$$12\ Kgf * cm = Fuerza * 60mm$$

Convirtiendo la distancia a cm:

$$12\ Kgf * cm = Fuerza * 60mm * \frac{1\ cm}{10\ mm}$$

$$12\ Kgf * cm = Fuerza * 6cm$$

Despejando se obtiene la fuerza máxima en cada rueda:

$$Fuerza = \frac{12\ Kgf * cm}{6cm}$$

$$Fuerza = 2\ Kgf$$

Sabiendo que:

$$1\ Kgf = 9.81\ Newtons$$

$$Fuerza = 2\ Kgf * \frac{9.81N}{1\ Kgf}$$

La fuerza resultante por rueda es de:

$$Fuerza = 19.62\ N$$

Por lo tanto la fuerza total del móvil será:

$$FuerzaTotal = 4 * Fuerza\ de\ Rueda$$

$$FuerzaTotal = 4 * 19.62\ N$$

$$\boldsymbol{FuerzaTotal = 78.48\ N}$$

4.2.3. Diseño del Sistema de Inspección.

Una de las características fundamentales del robot es que debe incluir la posibilidad de inspección visual de la tubería por lo que se hace necesario incluir una cámara con la capacidad de transmitir en tiempo real las imágenes tomadas por el robot durante su desplazamiento.

La primera opción considerada fue un sistema FVP utilizado habitualmente en robótica móvil y muy popular entre la comunidad de desarrollo de drones. Los sistemas *"First Person View"* o FPV por sus siglas en inglés transmiten imágenes por medio de radio frecuencia desde el móvil hasta un receptor que las decodifica y muestra en una pantalla que puede ser de un Smartphone, gafas de realidad virtual o pantalla hdmi.

Los tres componentes básicos de un sistema FPV son la cámara, el videotransmisor (VTX) y el videoreceptor (VRX). La cámara se conecta al transmisor, que envía la imagen en una longitud de onda de radio determinada por el fabricante, en caso de ser frecuencia fija, o configurable por el usuario, seleccionando el canal en el emisor y receptor.

Ilustración 61 - Componentes de un sistema FPV

Sin embargo este sistema tiene tres debilidades a tener en cuenta, la primera es su alto costo de implementación que sumaría significativamente al prototipo a desarrollar, la segunda es que el consumo de energía de la video cámara y del transmisor serían una carga directa a la alimentación del robot y la tercera que el alcance generalmente se plantea en línea de visión, esto quiere decir una línea recta sin obstáculos entre el transmisor y receptor, situación que nunca se dará en la operación de inspección de tuberías.

La contraparte de esta opción es una cámara tipo endoscopio de transmisión por cable que se encuentra habitualmente en el mercado de elementos de inspección de tuberías, ésta tiene la ventaja de ser completamente diseñada para el ambiente húmedo y no requiere complejos sistemas de transmisión pues toma video en el formato estándar HDMI.

Ilustración 62 - Cámara Tipo Endoscopio Flexible

Criterios de Selección:

Para tomar una decisión entre los dos sistemas se opta por tabular y calificar de 0 a 5 las características de cada uno:

Tabla 6 - Criterios de Selección Sistema CCTV

Característica	Sistema FPV	Cámara Endoscópica
Imagen en Tiempo Real	5	5
Tamaño de la Imagen	5	5
Peso del Conjunto	2	4
Costo del Sistema	3	4
Interferencia en la Transmisión	2	5
Protección al Ambiente	0	5
Consumo de Energía	3	5
Promedio de Calificación	**2.9**	**4.7**

Teniendo en cuenta esta calificación se opta por implementar el sistema de cámara tipo Endoscopio Flexible.

4.2.3.1. Diseño del Sistema de Soporte de la Cámara.

Como todas las cámaras, este sistema endoscópico tiene un ángulo de visión limitado y como requerimiento el sistema debe tener la capacidad de visualizar la tubería de extremo a extremo, movimiento que se conoce en fotografía como panorámica por lo que se debe incorporar un sistema de soporte que le permita realizar este “Paneo” o movimiento de giro horizontal como se muestra en la imagen siguiente:

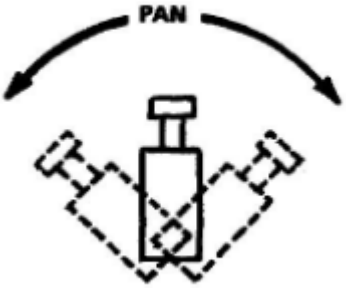


Ilustración 63 - Primer Movimiento de Cámara

En el sentido vertical también se debe tener la capacidad de mover la cámara para determinar puntos clave en la inspección; este movimiento vertical se conoce como inclinación o *“Tilt”*

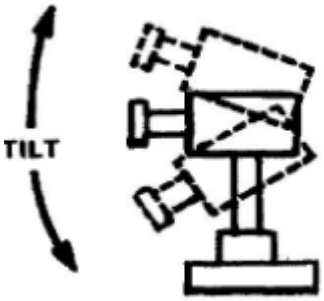


Ilustración 64 - Segundo Movimiento de Cámara

Para lograr estos movimientos es indispensable que el sistema de fijación no sea completamente estático lo cual se consigue incorporando bases pivotantes y motores que sean capaces de cambiar la posición de acuerdo al comando del operario. Se selecciona un sistema básico tipo *Pan/Tilt* movido por servomotores sg90 de bajo peso como se muestra a continuación:

Ilustración 65 - Soporte Móvil Pan/Tilt

Este sistema consta de dos bases pivotantes movidas por servomotores sg90 con las siguientes características:

- Dimensiones (L x W xH) = 22.0 x 11.5 x 27 mm (0.86 x 0.45 x 1.0 pulgadas)
- Peso: 9 gramos
- Peso con cable y conector: 10.6 gramos
- Torque a 4.8 volts: 16.7 oz/in o 1.2 kg/cm
- Voltaje de operación: 4.0 a 7.2 volts
- Velocidad de giro a 4.8 volts: 0.12 seg / 60 º
- Conector universal para la mayoría de los receptores de radio control
- Compatible con tarjetas y microcontroladores que funcionan a 5 voltios.

El motor, circuito de posicionamiento y conectores se encuentran bajo una carcasa de protección lo que lo hace perfecto para las condiciones de operación, adicionalmente los engranajes y bases son plásticas de modo que no corre riesgo de corrosión y funciona sin problema bajo las condiciones de inspección.

4.3. Diseño Electrónico

El diseño electrónico se dividirá en dos ramas fundamentales, diseño de control y diseño de potencia ya que el sistema requiere manejo de corrientes altas más allá de las soportadas por los microcontroladores estándar.

4.3.1. Diseño de Control

Para iniciar el diseño de la etapa de control es necesario detallar que aspectos son requeridos e indispensables para de este modo establecer el número mínimo de entradas, salidas y capacidad de procesamiento de modo que permita con estos criterios seleccionar apropiadamente el dispositivo de control.

Entradas Requeridas:

- Como requerimiento por parte de la empresa Hydrotech S.A.S el control debe ser cableado con un protocolo comercial, de modo que se establece la conexión por puerto serial compatible con comandos enviados vía Software.
- Debe existir la capacidad de establecer las distancias recorridas por el robot de modo que se requiere una entrada de interrupción para un encoder incremental.
- Posibilidad de ampliación en las funciones establecidas y facilidad de variación de la programación.

Salidas Requeridas:

- Las salidas principales de la plataforma robótica serán como tal los comandos para el desplazamiento, al trabajar con cuatro motores, dos por lado se conectarán en paralelo para poder controlarlo en cuanto a dirección, sentido y velocidad de giro, se anticipa el uso de una etapa de potencia de tipo puente h por lo que se necesitan:
    - Dos salidas digitales para control de sentido de giro para cada par de motores. Cuatro en total.
    - Dos pines PWM para el control de velocidad de cada par de motores.
- Por último un pin PWM para el control de cada servomotor del soporte de cámara. Dos en total.

En lo referente a velocidad de procesamiento, no se tiene un requerimiento determinado dada la baja velocidad de movimiento del robot y a que la arquitectura del sistema de control es abierto sin retroalimentación.

Para determinar el controlador adecuado se tabulan y evalúan, de 0 a 5, las características de las tres opciones con mayor presencia en el mercado a continuación:

Tabla 7 - Evaluación de Alternativas de Microcontrolador

Característica	FreeScale Frdm-k64f	PIC 16F628A	Placa Arduino Mega
Requiere Programador Externo	5	0	5
Placa Integrada	5	0	5
Cantidad Suficiente de Entradas y Salidas	5	5	5
Puertos PWM	5	5	5
Interrupción Externa	5	5	5
Consumo de Corriente	2	5	3
Comunicación Serial Embebida	5	0	5
Costo	2	5	4
Licencia Libre	0	0	5
PROMEDIO	3.8	2.8	4.7

Si bien es cierto que los desarrollos robustos y especializados son campos donde los microcontroladores se desempeñan significativamente mejor que las placas de desarrollo en este caso, teniendo en cuenta los aspectos anteriormente evaluados, el explícito requerimiento de la compañía de tener desarrollos en Hardware y Software libre y, que la posibilidad de actualización sea fácil y de bajo requerimiento de especialización hacen que la balanza se incline hacia la plataforma didáctica de Arduino Mega.

Especificaciones de la Placa Arduino Mega

- Microcontrolador ATmega2560.
- Voltaje de entrada de 7 V. – 12 V.
- 54 pines digitales de Entrada/Salida
- 14 salidas PWM (Contadas dentro de los 54 Pines de salidas digitales).
- 16 entradas análogas.
- 256k de memoria flash.
- Velocidad del reloj de 16Mhz.

Dimensiones de la Placa Arduino Mega

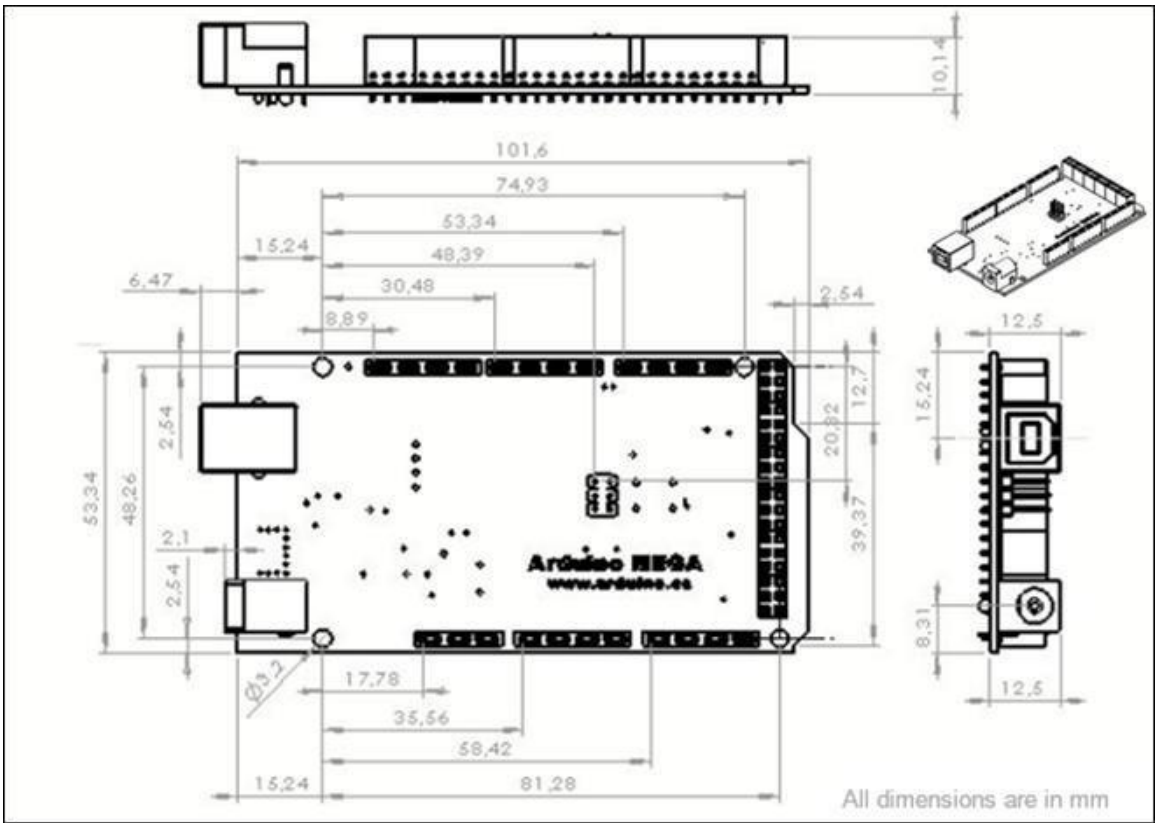


Ilustración 66 - Dimensiones Placa Arduino Mega

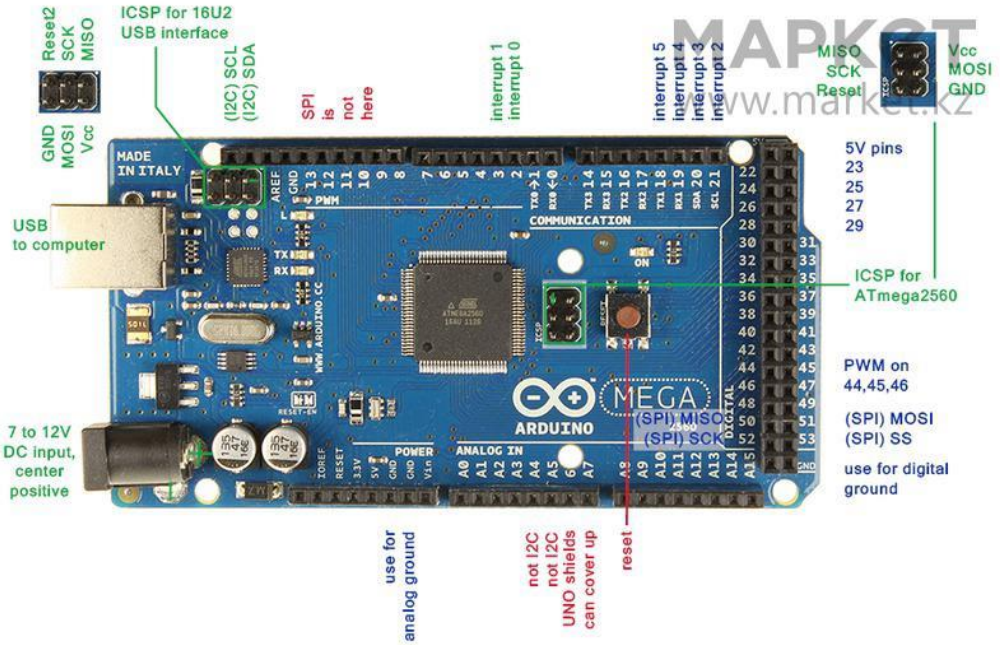


Ilustración 67 - Vista Superior Placa Arduino Mega2560

Una vez definido el microcontrolador se puede continuar con la selección del encoder, elemento encargado de registrar el desplazamiento del móvil.

Módulo Encoder HC-020K[13]

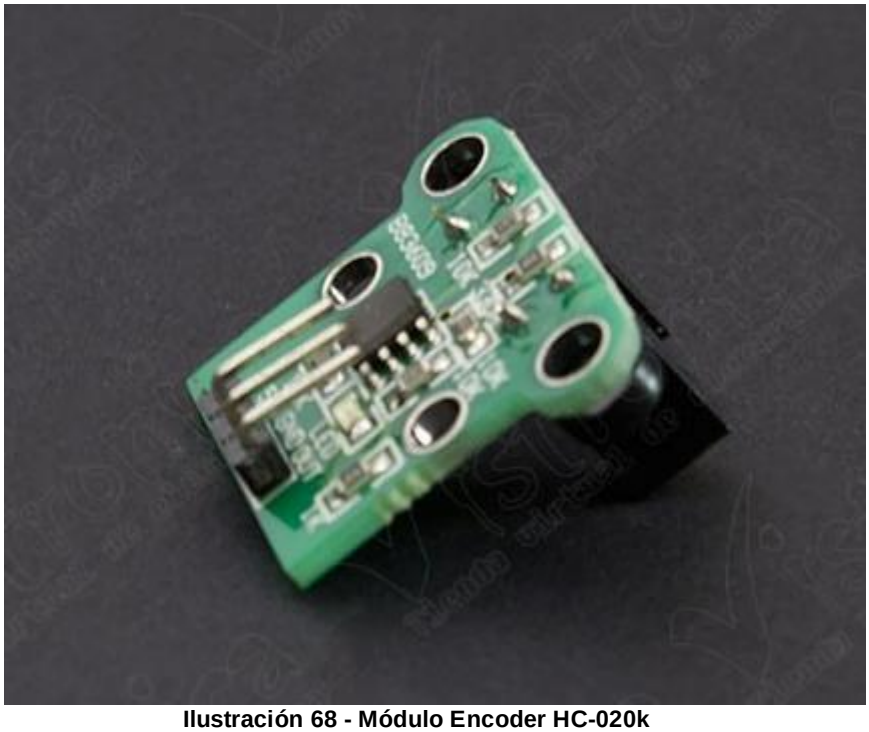


Ilustración 68 - Módulo Encoder HC-020k

Características:

Este módulo se alimenta entre el rango de 4,5V y 5,5V, es de bajo tamaño y peso, tiene 2cm x 2 cm, esto hace que se pueda poner prácticamente en cualquier lugar.

Para su funcionamiento posee dos leds infrarrojos, un emisor y su contraparte receptora. Cada vez que se interrumpe la señal entre ellos se envía un 1, o pulso alto a la salida. Tiene una resolución de 0.01mm y una frecuencia de medición de 100KHZ.

- Voltaje de funcionamiento 4.5 v a 5.5 v
- Trasmisión caída de tensión vf =1.6 v
- Corriente de funcionamiento: 20 ma
- Salida de señal a, b dos Vías: nivel TTL
- Frecuencia de medición: 100 Khz
- Resolución 20 líneas.
- Diámetro del disco contador: 24 mm.

[13] Hoja de Datos entregada por el Proveedor Local. https://www.vistronica.com/modulos/modulo-encoder-hc-020k-detail.html

- Diámetro del agujero del disco: 4 mm.
- Precisión 0.01 mm
- Dimensiones: 2cm x 2cm
- Peso: 0.46 oz (13g).

El funcionamiento es bastante sencillo, cada interrupción del haz de luz infrarroja es interpretada por el dispositivo que envía a la salida un valor TTL alto el cual se utilizará en el programa principal para medir la distancia recorrida teniendo en cuenta lo siguiente:

$$Distancia\ Recorrida = Perímetro\ de\ Rueda * Número\ de\ Rotaciones.$$

$$Distancia\ Recorrida = \pi * Diámetro\ de\ Rueda * Número\ de\ Rotaciones.$$

$$Distancia\ Recorrida = 0.377\ m * Número\ de\ Rotaciones.$$

Sabiendo que cada rotación completa el encoder transmite 20 pulsos.

$$Distancia\ Recorrida = 0.377\ m * Cantidad\ de\ Pulsos * \frac{1\ Rotación}{20\ Pulsos}$$

$$Distancia\ Recorrida = \frac{0.377}{20}\ m * Cantidad\ de\ Pulsos$$

De modo que la distancia recorrida en metros será:

$$\boldsymbol{Distancia\ Recorrida = 0.01885\ * Cantidad\ de\ Pulsos\ [m]}$$

4.3.1.1. Programación del Arduino.

```
#include <Servo.h>
Servo servo1, servo2 ;
int dato_Serial;
int angulo = 9;
int angulo2 = 10;
int IN1 = 26;
int IN2 = 28;
int IN3 = 30;
int IN4 = 32;
int ENA = 6;
int mm = 0;
int ENB = 3;
int IN11 = 36;
int IN22 = 38;
int IN33 = 40;
int IN44 = 42;
int ENAA = 5;
int ENBB = 4;
int led = 13; //Se escoje la variable donde
se conectará el LED
int i;
int g = 255;
float pvol;
float dis;
float dis1;
float dis2;
```

```
float dr;
int n;

void counter() {
  if (mm == 2)
  {
    n++;     // Incrementa los impulsos
  }
  if (mm == 1)
  {
    n--;
  }

}
void setup()
{ Serial.begin(9600);
  servo1.attach(9);       // El servo 1 se
controla con el pin 9
  servo2.attach(10);      // El servo 2 se
controla con el pin 10
  pinMode (IN1, OUTPUT);
  pinMode (IN2, OUTPUT);
  pinMode (IN3, OUTPUT);
  pinMode (IN4, OUTPUT);
  pinMode (ENA, OUTPUT);
  pinMode (ENB, OUTPUT);
  pinMode (IN11, OUTPUT);
  pinMode (IN22, OUTPUT);
  pinMode (IN33, OUTPUT);
  pinMode (IN44, OUTPUT);
  pinMode (ENAA, OUTPUT);
  pinMode (ENBB, OUTPUT);
  pinMode (led, OUTPUT);//Se inicializa
como OUTPUT el pin a usar. Debe ser
PWM
  attachInterrupt(0, counter, FALLING); //
Configuración de la interrupción 0, donde
esta conectado el encoder HC-020K.
FALLING = la interrupción actua cuando la
señal del pin cae : pasa de HIGH a LOW.
  n = 0;
  Serial.println("");
  Serial.print(" Voltaje  "); Serial.print("
Pulsos    "); Serial.print("Bateria ");
Serial.println("   Distancia");
}
void loop()
{

  float voltajeSensor = get_voltage(10000);
  pvol = map(voltajeSensor, 6, 8, 0, 100);
  if (Serial.available() > 0) {
    dato_Serial = Serial.read();
    if (dato_Serial == 'w') {
      ade();
      mm = 2;
    }
    if (dato_Serial == 'r') {
      atr();
      mm = 1;
    }
    if (dato_Serial == 'x') {
      para();
    }
    if (dato_Serial == 'i') {
      izq();
    }
    if (dato_Serial == 'p') {
      der();
    }
    else if (dato_Serial == 'a') {
      i += 64;
      analogWrite(led, i);
      delay(10);
    }
    else if (dato_Serial == 'g')
    { i -= 64;
      analogWrite(led, i);
      delay(10);
    }
    if (dato_Serial == 'e')angulo += 45;
    else if (dato_Serial == 'd')angulo -= 45;
    else if (dato_Serial == 's')angulo2 += 45;
    else if (dato_Serial == 'f')angulo2 -= 45;
    else if (dato_Serial == 'a')i += 64;
```

```
    else if (dato_Serial == 'g')i -= 64;
    angulo = constrain(angulo, 5, 180);
    angulo2 = constrain(angulo2, 0, 90);
    analogWrite(led, i);
    delay(10);
  }
  servo1.write(angulo);
  servo2.write(angulo2);
  detachInterrupt(0);

  if (mm == 2)
  {
    dis = n * 1.3435;
    dr = dis / 100;
    Serial.print("   ");
    Serial.print(voltajeSensor , 2);
Serial.print(" V      ");
    Serial.print(n); Serial.print("       ");
    Serial.print(pvol); Serial.print("%     ");
    Serial.print(dr , 3); Serial.print("m     ");
    Serial.println( );
  }
  if (mm == 1)
  {
    dis = n * 1.3435;
    dr = dis / 100;
    Serial.print("   ");
    Serial.print(voltajeSensor , 2);
Serial.print(" V      ");
    Serial.print(n); Serial.print("       ");
    Serial.print(pvol); Serial.print("%     ");
    Serial.print(dr , 3); Serial.print("m     ");
    Serial.println( );
  }
  attachInterrupt(0, counter, FALLING);
  delay(100);
}
float get_voltage(int n_muestras)
{
  float voltage = 0;

  for (int i = 0; i < n_muestras; i++)
  {
    voltage = voltage + analogRead(A0) *
(24.075 / 1023.0);
  }
  voltage = voltage / n_muestras;
  return (voltage);
}
void ade () {
  digitalWrite (IN1, HIGH);
  digitalWrite (IN2, LOW);
  digitalWrite (IN3, HIGH);
  digitalWrite (IN4, LOW);
  digitalWrite (IN11, HIGH);
  digitalWrite (IN22, LOW);
  digitalWrite (IN33, HIGH);
  digitalWrite (IN44, LOW);
  analogWrite(ENB, g);
  analogWrite(ENA, g);
  analogWrite(ENBB, g);
  analogWrite(ENAA, g);
  delay(100);
}
void atr() {
  digitalWrite (IN1, LOW);
  digitalWrite (IN2, HIGH);
  digitalWrite (IN3, LOW);
  digitalWrite (IN4, HIGH);
  digitalWrite (IN11, LOW);
  digitalWrite (IN22, HIGH);
  digitalWrite (IN33, LOW);
  digitalWrite (IN44, HIGH);
  analogWrite(ENB, g);
  analogWrite(ENA, g);
  analogWrite(ENBB, g);
  analogWrite(ENAA, g);
  delay(100);
}
void para() {
  digitalWrite (IN1, LOW);
  digitalWrite (IN2, HIGH);
  digitalWrite (IN3, LOW);
  digitalWrite (IN4, HIGH);
  digitalWrite (IN11, LOW);
  digitalWrite (IN22, HIGH);
```

```
  digitalWrite (IN33, LOW);
  digitalWrite (IN44, HIGH);
  analogWrite(ENB, 0);
  analogWrite(ENA, 0);
  analogWrite(ENBB, 0);
  analogWrite(ENAA, 0);
  delay(100);
}
void izq() {
  digitalWrite (IN1, HIGH);
  digitalWrite (IN2, LOW);
  digitalWrite (IN3, HIGH);
  digitalWrite (IN4, LOW);
  digitalWrite (IN11, LOW);
  digitalWrite (IN22, HIGH);
  digitalWrite (IN33, LOW);
  digitalWrite (IN44, HIGH);
  analogWrite(ENB, g);
  analogWrite(ENA, g);
  analogWrite(ENBB, g);
  analogWrite(ENAA, g);
  delay(100);
}
void der() {
  digitalWrite (IN1, LOW);
  digitalWrite (IN2, HIGH);
  digitalWrite (IN3, LOW);
  digitalWrite (IN4, HIGH);
  digitalWrite (IN11, HIGH);
  digitalWrite (IN22, LOW);
  digitalWrite (IN33, HIGH);
  digitalWrite (IN44, LOW);
  analogWrite(ENB, g);
  analogWrite(ENA, g);
  analogWrite(ENBB, g);
  analogWrite(ENAA, g);
  delay(100);
}
```

4.3.1.2. Esquema de Conexiones.

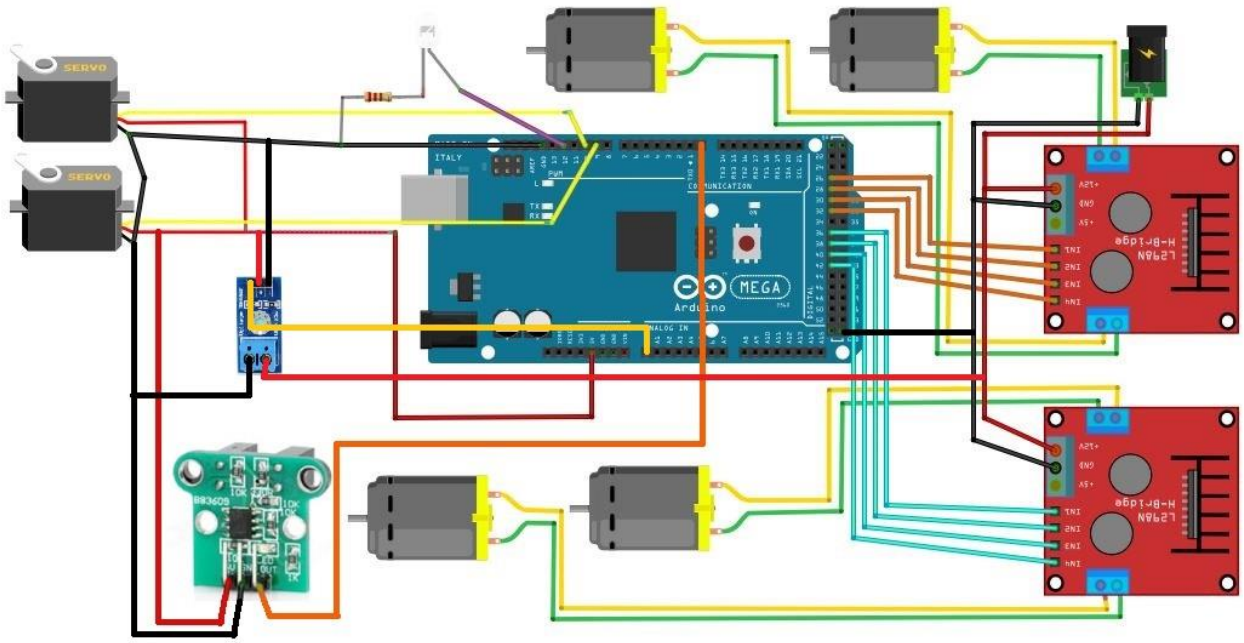


Ilustración 69 - Esquema de Conexiones

4.3.2. Diseño de Potencia

Está claro que un microcontrolador no puede alimentar directamente una carga como lo son los motores DC, en este caso son 4 motores manejados de a dos en paralelo para cada lado los cuales en el caso límite tendrían el siguiente consumo de corriente:

- Corriente Máxima a 12 V: 5000 mA

Para cada par de motores en paralelo entonces se tendrían corrientes pico en operación de 10 Amperios por canal, de acuerdo a esto el driver comercial que lo soporta sería tipo mosfet. Se selecciona un driver tipo Shield compatible para Arduino en el que se ha reemplazado el puente L298 H con un par de drivers de motor de puente completo VNH2SP30. También se ha reforzado los circuitos de soporte para que esta placa sea capaz de conducir un par de motores de alta corriente.

Características:

- Voltaje máximo: 16V
- Corriente nominal máxima: 30 A
- Corriente continua de operación: 14 A
- Detección de corriente disponible para Arduino pin analógico
- Resistencia MOSFET: 19 mΩ (por puente)
- Frecuencia PWM máxima: 20 kHz
- Apagado térmico
- Apagado por baja-tensión y sobretensión

Ilustración 70 - Shield MotoMonster 30 Amperios

5. Conclusiones

Dado que el producto final propuesto es un prototipo, se emplean materiales y elementos de bajo costo de modo que la construcción permita realizar pruebas preliminares que den confirmación a la hipótesis de diseño o parámetros concretos de correcciones.

La plataforma robótica de prueba es la siguiente:

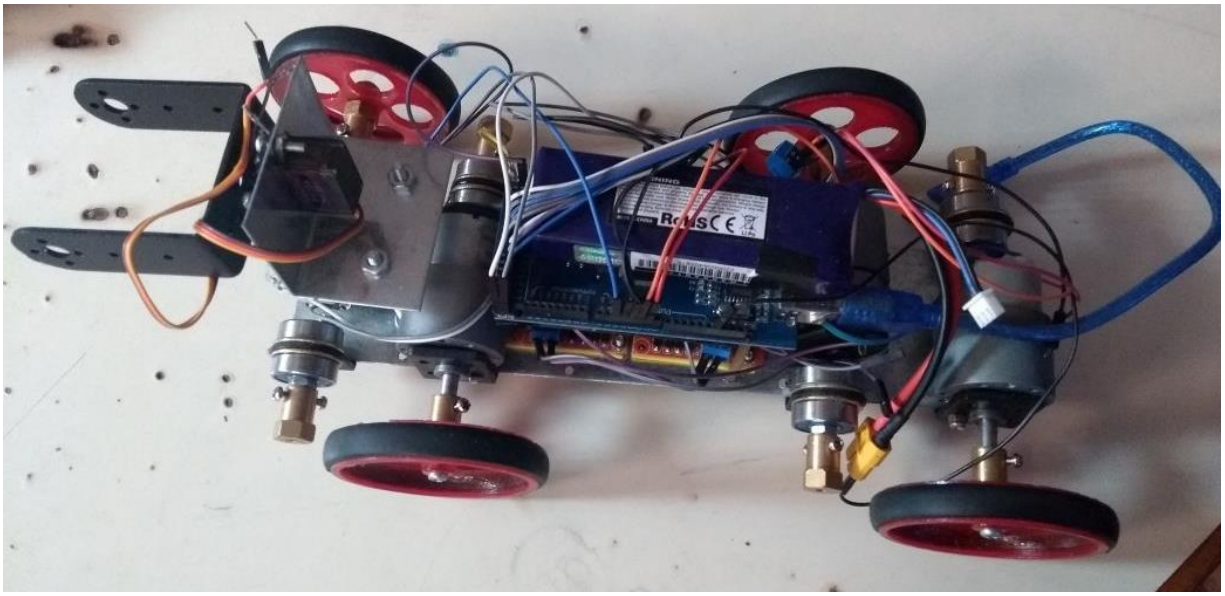


Ilustración 71 - Fotografía de Primer Modelo Construido

En las pruebas se consiguen distancias de respuesta superiores a los 80 metros lineales sin interferencia alguna, se utiliza para la comunicación la plataforma Serial del software Arduino con excelentes resultados y la visualización por medio del software propio de la cámara endoscópica.

Se propone como fase de continuidad al proyecto, el diseño e implementación de una plataforma de Software de control que integre el comando del robot, la movilidad de la cámara y la visualización en un programa propio, así como el perfeccionamiento de las mediciones de distancia en casos en los que haya deslizamiento de la rueda supervisada por el encoder de modo que corrija las distancias marcadas como recorridas y que por diferentes causas no sean reales.

Bibliografía

[1] alcaldia de fusagasuga. (02 de febrero de 2018). alcaldia de fusagasuga. Obtenido de http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Paginas/Llamado-por-temporada-ambiental.aspx Febrero 21 de 2018

[2] esap Fusagasugá. (20 de marzo de 2015). esap Fusagasugá. Obtenido de http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Imagenes/pd-%20fusagasuga-%20cundinamarca-%20acuerdo%2015%20de%202003%20parte%203.pdf

[3] DIAGNÓSTICO DE MEDIO AMBIENTE - Acuerdo 15 de 2003 Parte 3

[4] Fusagasugá banco de documentos. (2002). fusgasuga cundinamarca. Obtenido de http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/An%C3%A1lisis%20de%20la%20Situaci%C3%B3n%20en%20Salud%20ASIS.pdf Análisis en la situación en salud

[5] 6. Mailay J. “Inundaciones”. En: Noji E, editor. Impacto de los desastres en la salud pública. Bogotá: Organización Panamericana de la Salud, OPS/OMS; 2000.

[6] PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA TEMPORADA DE LLUVIAS Y POSIBLE FENÓMENO DE LA NIÑA 2016 – 2018 CMGRD MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ Alcaldía de Fusagasugá

[7] PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA TEMPORADA DE LLUVIAS Y POSIBLE FENÓMENO DE LA NIÑA 2016 – 2018 CMGRD MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ Alcaldía de Fusagasugá RECOMENDACIONES PARA TOMA DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN.

8 INUNDACIONES. PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA TEMPORADA DE LLUVIAS Y POSIBLE FENÓMENO DE LA NIÑA 2016 – 2018 CMGRD MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ Alcaldía de Fusagasugá

[9] Normas de Diseño de Alcantarillado EPM

[10] REPÚBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico DOCUMENTACIÓN TÉCNICO NORMATIVA DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO

[11] IEC 60529: Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). International Electrotechnical Commission, Geneva. Volver arriba↑ DIN 40050-9:

Straßenfahrzeuge; IP-Schutzarten; Schutz gegen Fremdkörper, Wasser und Berühren; Elektrische Ausrüstung - [1]