	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 7

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
Pardo Trujillo	Jair Fernando	1069740507

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



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

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Huerfano Zapata	Benjamin Andres

TÍTULO DEL DOCUMENTO
DISEÑO DE UN SOFTWARE PARA EL MANEJO DE UN ROBOT 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 PÁGINAS
2018	55

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.Software	Electronic design
6.Interfaz Grafica	Graphic interface



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El propósito de este proyecto es diseñar un software para el manejo y control de un robot para inspección de alcantarillados, con el fin de obtener características internas y poder aclarar si las condiciones del funcionamiento son las más adecuadas o si es necesario realizar algún cambio. Este trabajo tiene como propósito realizar el diseño adecuado del robot para que a su vez el software pueda ser desarrollado de la mejor manera para obtener un prototipo de inspección.

En los últimos años se han presentado fuertes lluvias causando grandes daños e inundaciones en distintas partes del país. Por ejemplo en Fusagasugá Cundinamarca en las épocas de lluvia se ven taponamientos en general debido a que los alcantarillados se llenan de residuos que bajan, los accesos a las tuberías de las vías taponadas no pueden ser observadas con claridad debido a sus tamaños y a su difícil acceso. A nivel mundial se han desarrollado grandes proyectos de automatización por medio de robots y software para la revisión de alcantarillados por medio de CCTV, es decir, robots adecuados para el ingreso a las tuberías y por medio de una cámara se puede observar el estado, y así mismo poder dar soluciones evitando taponamientos.

The purpose of this project is to design software for the management and control of a robot for sewer inspection, in order to obtain internal characteristics and be able to clarify if the operating conditions are the most appropriate or if it is necessary to make any changes. The purpose of this work is to design the appropriate robot so that the software can be developed in the best way to obtain an inspection prototype.

In recent years there have been heavy rains causing great damage and flooding in different parts of the country. For example, in Fusagasugá Cundinamarca, in the rainy season, there are blockages in general due to the fact that the sewers are filled with falling waste, the accesses to the pipes of the blocked roads can not be clearly observed due to their size and difficult access. . Worldwide, large automation projects have been developed by means of robots and software for the revision of sewage systems by means of CCTV, that is, robots suitable for entering the pipes and by means of a camera the state can be observed, and likewise being able to give solutions avoiding clogging.

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 4 de 7

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.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 5 de 7

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 PUBLICACIÓN

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).

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 6 de 7

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.



	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 7 de 7

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 un software para el manejo de un robot para 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 (autógrafo)
Pardo Trujillo Jair Fernando	

12.1.50

DISEÑO DE UN SOFTWARE PARA EL MANEJO DE UN ROBOT PARA INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

JAIR FERNANDO PARDO TRUJILLO.
Estudiante Ingeniería Electrónica.

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

DISEÑO DE UN SOFTWARE PARA EL MANEJO DE UN ROBOT PARA INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

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

JAIR FERNANDO PARDO TRUJILLO.
Estudiante Ingeniería Electrónica.

Asesor Interno:
Ing. BENJAMIN ANDRES HUERFANO ZAPATA.

Asesor Externo:
Ing. RENE FERNANDO MELO MIRANDA.

Línea de investigación:
SOFTWARE, SISTEMAS EMERGENETS y NUEVAS TECNOLOGIAS

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

Resumen

El propósito de este proyecto es diseñar un software para el manejo y control de un robot para inspección de alcantarillados, con el fin de obtener características internas y poder aclarar si las condiciones del funcionamiento son las más adecuadas o si es necesario realizar algún cambio. Este trabajo tiene como propósito realizar el diseño adecuado del robot para que a su vez el software pueda ser desarrollado de la mejor manera para obtener un prototipo de inspección.

En los últimos años se han presentado fuertes lluvias causando grandes daños e inundaciones en distintas partes del país. Por ejemplo en Fusagasugá Cundinamarca en las épocas de lluvia se ven taponamientos en general debido a que los alcantarillados se llenan de residuos que bajan, los accesos a las tuberías de las vías taponadas no pueden ser observadas con claridad debido a sus tamaños y a su difícil acceso. A nivel mundial se han desarrollado grandes proyectos de automatización por medio de robots y software para la revisión de alcantarillados por medio de CCTV, es decir, robots adecuados para el ingreso a las tuberías y por medio de una cámara se puede observar el estado, y así mismo poder dar soluciones evitando taponamientos.

Primordialmente se analizan diferentes métodos que cumplan con las características y especificaciones planteadas. A medida que avanza el proyecto se realizan distintas selecciones y métodos de alimentación, movimiento, modo de control, tipo de cámara y transmisión de la imagen. También procesos de inspección realizados a nivel mundial para tener claro dichos procedimientos que se le van a realizar al software, teniendo claro defectos de las tuberías y problemas habituales que se pueden presentar en el robot.

Para el desarrollo se debe tener en cuenta la comunicación alámbrica y así mismo poder observar con claridad diferentes aspectos dentro de las tuberías ya que no todas son iguales en cuanto a formas, material y tamaño. El movimiento de la cámara, el tamaño, la resolución y el enfoque son esenciales para ver con detalles ciertos inconvenientes.

La parte mecánica es de gran importancia debido a que por medio del software tendrá movimiento el robot, la tracción y la fuerza que ejerzan los motores van a depender de que el movimiento sea el adecuado para realizar las tareas satisfactoriamente.

Contenido

Resumen.....	3
Introducción.....	8
1. EL PROBLEMA.....	9
1.1. Planteamiento del problema	9
1.2. Objetivos del estudio	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
2.2. Fundamentos teóricos.....	15
2.2.1. C# (CSHARP).....	15
2.2.2. Arduino MEGA	16
2.2.3. Cámara para inspección de alcantarillado.....	18
2.2.4. Sensores.....	19
2.2.4.2. Porcentaje de la batería	20
3. DISEÑO METODOLÓGICO	21
3.1. Metodología.....	21
4. DISEÑO DEL SISTEMA	22
4.1. Análisis del estado del arte	22
4.2. Identificación del lenguaje y plataforma de desarrollo.....	25
4.3. Selección de la plataforma de procesamiento de información.....	27
4.4. Selección de la cámara.....	29
4.5. Selección de los sensores	30
4.6. Selección del cable para la comunicación.....	32
5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	33
5.1. Interfaz gráfica C#.....	33
5.2. Conexión con plataforma de procesamiento de información	34
5.2.1. Variables.....	35
5.2.2. Motores.....	36
5.2.3. Cuenta metros.....	37
5.2.4. Estado de la batería.....	38

5.2.5. Servos y cámara	39
6. PRUEBAS	40
6.1. Prueba de conexión con cable UTP.....	40
6.2. Prueba de la imagen transmitida.....	41
6.3. Prueba movimiento del robot.....	43
6.4. Prueba estado de la batería.....	44
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
7.1. Resultados de la prueba de conexión.....	46
7.2. Resultados imagen transmitida por la cámara.....	47
7.3. Requisitos para la interfaz del usuario.....	48
7.4. Resultados del estado de la batería	49
8. CONCLUSIONES.....	52
Bibliografía	53

Índice de figuras

Figura 1. Arquitectura de la plataforma.	16
Figura 2. Arduino Mega.	18
Figura 3. Cámara endoscopio.	19
Figura 4. Encoder HC-020K.	19
Figura 5. Modulo sensor de voltaje.	20
Figura 6. Metodología del Proyecto.	21
Figura 7. Comparación de velocidad.	27
Figura 8. Interfaz gráfica inicial.	34
Figura 9. Esquema de conexiones.	34
Figura 10. Proceso general de las conexiones.	35
Figura 11. Declaración de variables.	35
Figura 12. Conexión con arduino para el movimiento de los motores.	36
Figura 13. Conexión con arduino para saber la distancia recorrida por el robot.	37
Figura 14. Conexión con arduino para saber el porcentaje de la batería.	38
Figura 15. Conexión con arduino para el movimiento de la cámara.	39
Figura 16. Imagen transmitida por cámara endoscopio.	42
Figura 17. Imagen transmitida por cámara HD.	43
Figura 18. Batería con carga al 100%.	45
Figura 19. Voltaje de la batería luego de 1 hora de uso.	45
Figura 20. Resultado final robot para inspección de alcantarillados.	50
Figura 21. Resultado final interfaz gráfica.	51
Figura 22. Robot controlado mediante la interfaz gráfica.	51

Índice de tablas

Tabla 1. Criterios de búsqueda.....	23
Tabla 2. Formato de ficha bibliográfica.....	24
Tabla 3. Índices PYPL.....	25
Tabla 4. Ranking de popularidad.....	26
Tabla 5. Comparación de características de algunos modelos de Arduino.....	28
Tabla 6. Comparación de características entre dos sistemas diferentes de cámaras.....	30
Tabla 7. Características de distintos modelos de cable UTP.....	32
Tabla 8. Diferencia de especificaciones de 2 categorías de cable UTP.....	41
Tabla 9. Acciones PUENTE H.....	44
Tabla 10. Especificaciones de 2 modelos diferentes de motores.....	44
Tabla 11 Comparación de los tipos de baterías.....	45
Tabla 12 resultado de prueba para la conexión.....	47
Tabla 13 Factores que influyen en la prueba de imagen.....	48
Tabla 14 resultados pruebas de la batería lipo.....	50

Introducción

La robótica es una ciencia que ha presenciado grandes avances en los últimos años, estos avances han permitido desarrollar numerosos prototipos robóticos que han permitido precautelar la vida de los seres humanos o explorando lugares desconocidos.

A diario en las diferentes ciudades y regiones de Colombia se presentan diversos problemas en cuanto al flujo del agua en alcantarillas y tuberías, que se ven interrumpidas por la alta cantidad de basuras y residuos tóxicos que la misma ciudadanía arroja en las calles o en las fuentes hidrográficas aledañas de las diferentes ciudades; es por esto que se implementara un prototipo (Robot) y un software el cual servirá para el manejo del mismo y para tener datos más precisos obteniendo imágenes transmitidas por la cámara. Gracias a este monitoreo va ser más fácil para los operarios analizar con mayor precisión aquellas anomalías y permite acceder directamente a la falla disminuyendo el tiempo de respuesta para problemas específicos. Lo que significa un proceso muy ágil y rápido en comparación a los que se utilizaban anteriormente. El tiempo es rentabilizado y los problemas son resueltos de forma más profesional.

En los últimos tiempos la ciudad de Fusagasugá ha tenido varios problemas con taponamiento y desbordamientos de las alcantarillas y quebradas por lo cual se desea desarrollar un prototipo de planta y un software para el monitoreo y control del mismo con el fin de ayudar al destaponamiento de alcantarillados.

El proyecto va ser desarrollado para La empresa HYDROTECH INGENISERIA S.A.S que se encarga de la elaboración de maquinaria para revisión de acueductos y alcantarillados de la zona. A su vez presta el servicio para el monitoreo y cuenta con el personal indicado para dichos trabajos. Se anhela tener alcantarillados y tuberías sin obstrucciones lo cual brindara un mejor flujo de las aguas en la ciudad, además con este dispositivo se quiere lograr tener un conocimiento sobre el estado del alcantarillado y tuberías para que estas no se sigan taponando y generando problemas en la ciudadanía. [1]

1.EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En temporada de lluvias se presentan desbordamientos e inundaciones causados por taponamientos presentados por la acumulación de basuras y pasto en las fuentes hidrográficas de la zona y en los alcantarillados más importantes de la ciudad. Debido a este problema se ven afectados los trabajadores al exponerse a este entorno de contaminación y la comunidad en general con las inundaciones y malos olores que se presentan.

En 2014 se presentó un fuerte desbordamiento de tres quebradas aledañas de la zona de Fusagasugá debido a las condiciones climáticas, que en este caso era los inicios de la temporada de lluvias en Colombia y también por el taponamiento de dichas quebradas por parte de basuras y lodo. En caso de no ser corregido este problema se continuará presentando desbordamientos y taponamientos en las principales alcantarillas de la ciudad, generando contaminación y por ende enfermedades a la comunidad en general. 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. [2]

HYDROTECH INGENIERIA S.A.S es la encargada de la fabricación y comercialización de maquinaria y equipo de uso especial para inspección de alcantarillado, proveyendo soluciones de ingeniería a diferentes problemáticas de carácter local y nacional, debido a los problemas presentados en algunas épocas, la empresa decidió re-estructurar su sistema de inspección ya que el comúnmente usado era muy básico. Se va desarrollar un robot para el ingreso a los alcantarillados y un software que va ser el encargado del manejo del prototipo.

1.2. Objetivos del estudio

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un software para el manejo de un robot para inspección de sistemas de alcantarillado.

1.2.2. Objetivos específicos

- La información transmitida debe ser totalmente clara de modo que permita la correcta interpretación del estado del interior de la tubería.
- Evaluar el diseño establecido del software y el comportamiento del robot en distintos ámbitos.
- Diseñar la electrónica de la interfaz (estructuras digitales para el mantenimiento de las señales de posicionamiento y elección de dispositivos de entrada/salida para el control desde el software).
- Encontrar la interfaz adecuada para el manejo del robot por el usuario (facilidad de uso).

1.3. Justificación

La ejecución de este proyecto es beneficiosa en el marco de la empresa para la cual se está generando esta solución y también en beneficio de la región y la ciudad que en este caso es Fusagasugá.

Este proyecto beneficia el plan de desarrollo para Fusagasugá 2016 – 2019, dado que trata y da solución a varios aspectos ambientales que se ven en la ciudad de Fusagasugá, lo cual genera que este prototipo sea implementado lo más pronto posible. [3]

Es cierto que existen soluciones a la problemática que se está tratando y cada una de ellas contribuyen en cierta medida a dar solución al problema, no obstante, la solución aquí presentada es prioritaria debido a que se ha planteado bajo la realidad de la ciudad y de la región, cuestiones que otras soluciones no tuvieron en cuenta tales como las temporadas de lluvias, el conocimiento del estado de los ríos y quebradas, además de incluir el factor social en términos de colaboración con la ciudadanía en veredas y en mantener ríos y alcantarillas limpias en el casco urbano.

El implementar esta solución conllevará a tener un control periódico sobre el estado de limpieza en el que se encuentran las alcantarillas de la ciudad, es decir el prototipo del robot y el software terminado y funcional para un monitoreo periódico.

Al llevar a cabo este proyecto se generan beneficios demasiado importantes, como en el ámbito social, ambiental, institucional, tecnológico y de la salud. En el ámbito social genera una sinergia en la ciudadanía al concientizarse de la necesidad de mantener los ríos y calles limpias para evitar desastres y pérdidas como las del desbordamiento por inundación en años anteriores. En el ámbito ambiental este proyecto tiene un alto impacto dado que se está cuidando el entorno natural de la ciudad, lo cual es a la vez un atractivo turístico. Las instituciones involucradas en este proyecto son la empresa HYDROTECH INGENIERIA S.A.S, el gobierno municipal y la universidad de Cundinamarca las cuales se benefician en temas publicitarios, contratos con otras entidades y por supuesto beneficios económicos.

En términos generales las personas podrán tener un ambiente con menos contaminación, se reducirán las enfermedades causadas en los operarios debido al contacto con estas aguas y se automatizara uno de los procesos más peligrosos en esta industria que es la limpieza de alcantarillas.

1.4. Alcances y limitaciones

Con el desarrollo del software se logrará controlar el robot diseñado para inspección de sistemas de alcantarillado, facilitando al operador observar y reparar con exactitud el daño, reduciendo el tiempo en el trabajo a realizar. Se debe considerar que no es necesario, para la implementación y uso de la herramienta, poseer un mínimo de conocimientos prácticos en la rutina del software o del robot por medio del operario debido a que con el tiempo será, en la mayoría de los casos, quien motive y promueva la utilización del software, así mismo sobre su orientación en la situación en que alguna duda pueda presentarse. Cabe destacar que esta herramienta será de gran ayuda para solucionar problemas, ya que el robot podrá ser controlado en general por el software, permitiendo mover la cámara para observar con claridad dentro del alcantarillado, también arrojará algunos datos exactos y va generar el movimiento del robot permitiendo llegar a lugares de poco acceso al personal autorizado.

Inicialmente para este proyecto se tenía pensado algún prototipo básico para inspección, más sin embargo al desarrollar el modelo se comprendió que en realidad se trataba de un proyecto de mayor envergadura y muy ambicioso, y que debido a las limitaciones en cuanto al tiempo designado para desarrollarlo fue conveniente algunas partes específicas y de mayor importancia para lograr resultados satisfactorios. Además de la limitación económica que presenta adquirir algunos componentes.

2.MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Tendiendo a necesidades de crecimiento demográfico Colombia implementa obras de acueducto y alcantarillado desde el año 1886, ya que uno de los problemas en Colombia es que los alcantarillados presentan grandes taponamientos debido a las fuertes lluvias generando problemas a la comunidad. Debido a esto se toman como referencia cuatro monografías, que, por su contenido similar al propuesto en la guía de transición, son de importancia para este proyecto. [4]

2.1.1. “Modelación y evaluación hidráulica del alcantarillado del municipio de chocontá – Cundinamarca, mediante el uso del software EPA SWMM” Masiel Lorena Rodríguez Anzola, Jhon Freddy Rodríguez Duarte. [5]

Se desarrolla un software para la modelación del alcantarillado existente del municipio de chocontá Cundinamarca. Principalmente se realiza la recolección de información y datos de cada una de las redes que se desea modelar para solucionar dichos problemas presentados, el programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua.

Se realiza una introducción de dicho software donde inicialmente se muestran los dibujos de cada uno de los elementos que corresponde al alcantarillado del municipio como son: pozos, conducto, subcuenca, precipitación y salida. Cada uno de estos ítems se puede desplegar para contar con distintas opciones y diferentes acciones para dar soluciones a dichos problemas que se presenten.

Luego del modelado para el alcantarillado por medio del software se encontraron dichos problemas en la conducción del agua como don o más conductores de aguas pluviales llegan a un pozo y no tienen salida. Poniendo así los conocimientos para dar soluciones para poder proceder al modelado del programa y evaluar las condiciones hidráulicas con las que está trabajando el alcantarillado de chocontá.

Para finalizar se muestra la modelación del alcantarillado del municipio tendrán en cuenta parámetros de velocidad, capacidad y caudal para luego poder seleccionar dos tramos críticos por inconsistencias hidráulicas y poder comparar distintos aspectos, ya que por medio del software se va poder observar el perfil evaluado en un intervalo de tiempo.

2.1.2. “Diseño e implementación de un gusano multicuerpo” Oscar Gagriel La Torre Salin. [6]

El objetivo del proyecto apunta al desarrollo e implementación de un robot que imitará los movimientos de los animales invertebrados, este robot será controlado por medio de un software donde se detallan los algoritmos de las simulaciones de los movimientos del robot, explicando el algoritmo de cada operación de las interfaces gráficas.

Como primera medida se usó un microcontrolador para probar el algoritmo donde se generaron hasta 16 señales PWM para enviar los ángulos a los servomotores por el puerto serial de la computadora; seguido a esto se generan las secuencias del movimiento zigzagueante por medio de las fórmulas que relacionan la frecuencia y la longitud, donde podrán ser vistas en una de las primeras partes de la interfaz, pudiendo ser alterados los parámetros de la onda.

Teniendo en cuenta todos los aspectos que pueden abarcar el robot, se tienen presentes botones para cargar, abrir y guardar datos arrojados. Por medio de estos se generó un programa para él envió de los datos desde un archivo generando resultados de las primeras pruebas del software.

Finalmente se muestra una interfaz gráfica más completa donde se puede observar botones de amplitud, longitud, frecuencia, play, pausa, netx, stop, abrir, cargar, guardar y una tabla con distintos grados. Se realizan pruebas logrando que el robot sea tele-comandado desde una computadora y el control de los servomotores por medio del software es de gran importancia ya que ayuda a la modularidad del sistema siendo fácilmente escalable.

2.1.3. “Entorno de modelado para el software de un robot humanoide” Juan Francisco Andrés Romero. [7]

Este Proyecto trata de mostrar los beneficios de la robótica y la implementación de software en algunos prototipos, hablan del entorno HuRoME (humanoid robot modeling environment), que se presenta en este proyecto utilizando un conjunto de herramientas diseñado para facilitar la secuencia de movimientos. En este caso se trata del robot Rebonova donde HuRoME no solo facilita la generación automática de código a partir de modelos, sino también el proceso inverso, depuración, extensión, reutilización, análisis y simulación.

Se observó Mediante la herramienta GMF (graphical modeling framework) que se puede generar una forma agradable y sencilla para los movimientos incidiendo

de forma positiva en el ámbito educativo para aquellas personas no expertas en el entorno gráfico, ya que esta herramienta permite generar códigos para distintas plataformas y lenguajes de programación teniendo finalmente una implementación lista para usar del editor gráfico.

2.1.4. “Dos robots revisaran el alcantarillado de Medellín” EPM empresa de servicios públicos de Colombia. [8]

En Medellín dos robots serán los encargados de supervisar el alcantarillado debido a los problemas de los taponamientos por las fuertes lluvias que se presentan en algunas épocas del año. Como bien se sabe Medellín es una ciudad destacada por sus grandes avances tecnológicos e innovadores proyectos para ayuda de la comunidad y el progreso ciudadano, en este caso con carros robotizados y dotados con cámaras de alta resolución se inspeccionan las tuberías para poder ver el estado y saber en lugar exacto para reparar o remplazar estructuras evitando así que los operarios tengan contacto con estas aguas contaminantes y evitando enfermedades para ellos mismos.

EPM adquirió los dos robots en forma de carro para la inspección, este robot cuenta con dos cámaras, una adelante y otra atrás, caracterizándose por la calidad de la imagen haciendo un registro de 360 grados. Un furgón dotado con elementos de alta tecnología es desde donde se maneja y se observa el recorrido del prototipo, teniendo en cuenta que hace recorridos de inspección de hasta 20 metros por minuto y llevando la información e imagen a un software desde el cual se hacen los respectivos análisis.

De este gran proyecto se puede destacar que el proceso de inspección va ser más rápido favoreciendo a la comunidad, evitando trancones por el cierre de carriles y la demora en reparaciones y evitando hundimiento en las vías.

2.2. Fundamentos teóricos

Es muy importante realizar un análisis detallado de los diferentes aspectos que intervienen en la consecución de los objetivos planteados, por tal motivo es importante hacer una pequeña reseña de los elementos que pueden ser incorporados en el diseño del robot y su respectivo software para inspección de alcantarillados. Las características, las diferencias que se presentan normalmente en los ductos y los posibles lineamientos a seguir para el desarrollo. Todo lo anterior con el propósito de comprender cada uno de los pasos que permiten la adquisición de los resultados.

2.2.1. C# (CSHARP)

Un lenguaje de programación es un lenguaje formal diseñado para realizar procesos que pueden ser llevados a cabo por máquinas como las computadoras. Pueden usarse para crear programas que controlen el comportamiento físico y lógico de una máquina, para expresar algoritmos con precisión, o como modo de comunicación humana.

CSHARP es un lenguaje elegante, con seguridad de tipos y orientado a objetos, que permite a los desarrolladores crear una gran variedad de aplicaciones seguras y sólidas que se ejecutan en .NET Framework .NET Puede usar C# para crear aplicaciones cliente de Windows, servicios web XML, componentes distribuidos, aplicaciones cliente-servidor, aplicaciones de base de datos y muchas, muchas más cosas. Visual C# proporciona un editor de código avanzado, prácticos diseñadores de interfaz de usuario, un depurador integrado y muchas otras herramientas que facilitan el desarrollo de aplicaciones basadas en el lenguaje C# y .NET Framework. Además de estos principios básicos orientados a objetos, C# facilita el desarrollo de componentes de software mediante varias construcciones de lenguaje innovadoras, incluidas las siguientes: [9]

- Signaturas de método encapsulado llamadas delegados, que permiten notificaciones de eventos con seguridad de tipos.
- Propiedades, que actúan como descriptores de acceso para variables miembro privadas.
- Atributos, que proporcionan metadatos declarativos sobre tipos en tiempo de ejecución.
- Comentarios de documentación XML insertados
- Language-Integrated Query (LINQ) que proporciona funcionalidades de consulta integradas en diversos orígenes de datos.

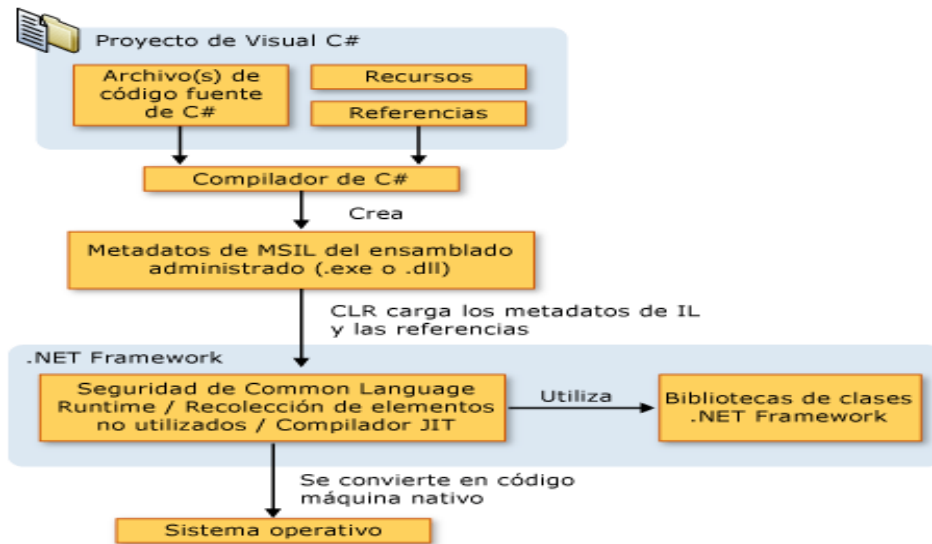


Figura 1. Arquitectura de la plataforma. Tomado de <https://docs.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/getting-started/introduction-to-the-csharp-language-and-the-net-framework>

Los programas de C# se ejecutan en .NET Framework, un componente integral de Windows que incluye un sistema de ejecución virtual llamado Common Language Runtime (CLR) y un conjunto unificado de bibliotecas de clases. El CLR es la implementación comercial de Microsoft de Common Language Infrastructure (CLI), un estándar internacional que es la base para la creación de entornos de ejecución y desarrollo en los que los lenguajes y las bibliotecas trabajan juntos sin problemas.

2.2.2. Arduino MEGA

Arduino es una marca de microcontroladores mundialmente conocida por los amantes de la electrónica, la programación y la robótica. Es un proyecto Open Source que pone a disposición de sus usuarios una amplia gama de dispositivos basados en el microcontrolador AtMega.

El Arduino Mega es probablemente el microcontrolador más capaz de la familia Arduino. Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa. La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del Puerto Serie. Posee un convertidor USB-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras. El Arduino Mega posee las siguientes especificaciones: [10]

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5V
- Voltaje de Entrada: 7-12V
- Voltaje de Entrada(límites): 6-20V
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA
- Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Clock Speed: 16 MHz

Alimentación: Arduino Mega puede ser alimentado mediante el puerto USB o con una fuente externa de poder. La alimentación es seleccionada de manera automática. Cuando se trabaja con una fuente externa de poder se debe utilizar un convertidor AC/DC y regular dicho voltaje en el rango operativo de la placa. De igual manera se puede alimentar el micro mediante el uso de baterías. Preferiblemente el voltaje debe estar en el rango de los 7V hasta los 12V.

Arduino Mega posee algunos pines para la alimentación del circuito aparte del adaptador para la alimentación:

- VIN: A través de este pin es posible proporcionar alimentación a la placa.
- 5V: Podemos obtener un voltaje de 5V y una corriente de 40mA desde este pin.
- 3.3V: Podemos obtener un voltaje de 3.3V y una corriente de 50mA desde este pin.
- GND: El ground (0V) de la placa.

Software: De este lenguaje derivan otros más que son muy utilizados en el ámbito de Ingeniería y desarrollo, como C#, Java, BASIC, PHP, Python, JavaScript, Perl, entre otros más; por lo tanto, Arduino soporta varios lenguajes de programación de alto nivel derivados de C, haciendo de esto una ventaja para los diseñadores que trabajan en varios o en 1 sólo entorno de desarrollo de programación. Para poder trabajar desde el nivel programación del procesador, debe descargarse el software que incluye las librerías necesarias para poder utilizar el lenguaje de manera completa. Otra ventaja es que este software puede descargarse desde el sitio web oficial de Arduino, ya que opera bajo licencia libre y está disponible a todo público.

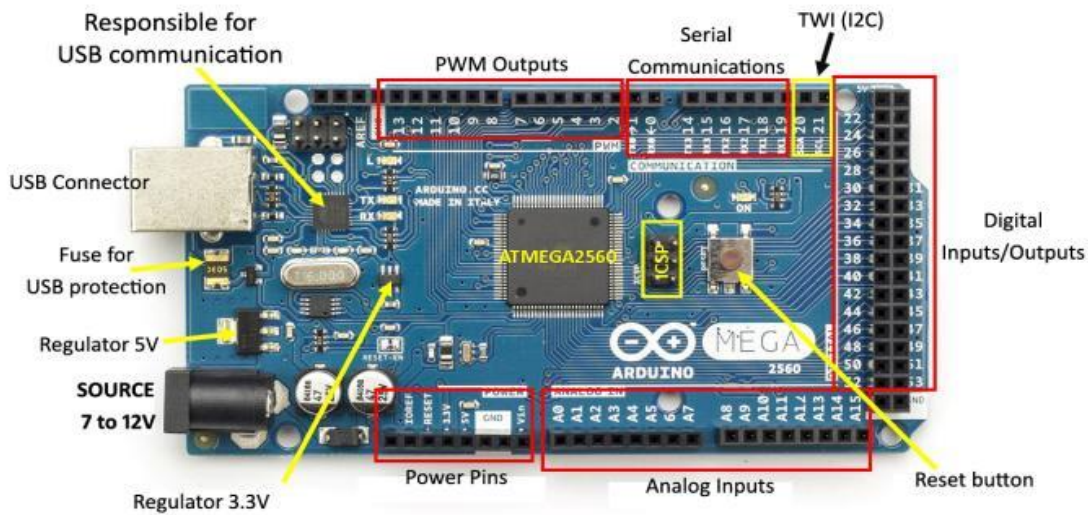


Figura 2. Arduino Mega. Tomado de https://www.researchgate.net/figure/Arduino-MEGA-2560_fig1_281538436

2.2.3. Cámara para inspección de alcantarillado.

La mini cámara endoscopio trae incluidos unos leds para tener iluminación siempre y cuando la necesitemos. Viene con un regulador de iluminación situado en el lado opuesto de la cámara, es decir, al lado del puerto USB para que encendamos la luz y la podamos regular en intensidad. Esto es muy adecuado para lugares donde introduzcamos este endoscopio flexible y no hay iluminación, como tuberías, canaletas, etc. [11]

Los videos grabados tendrán una resolución de 640x480 a 30fps y podremos grabar tanto imagen como sonido. Las imágenes son png con resolución 1920x1440. Será muy sencillo utilizar esta cámara endoscópica para móvil. Esta cámara endoscopio flexible es para dispositivos que dispongan Android versión 4.1.2 o superior con al menos 1GB de RAM disponible. Además también nos servirá para nuestro PC y es compatible para Windows XP / Vista / 7 / 8 o superior. Tan solo deberemos descargarnos el programa .exe gratuito que tenemos en la pestaña "Documentación" de nuestra web y una vez conectemos la cámara endoscopio al puerto USB de nuestro PC y ejecutado el programa, podremos ver y grabar todo lo que capta este endoscopio.

Esta cámara es ideal para inspección tanto de tuberías, además es perfecta para llevar siempre con nosotros y conectarla a nuestro teléfono Android o nuestra Tablet Android, allí cuando la necesitemos.



Figura 3. Cámara endoscopio. Tomado de <http://www.pce-iberica.es/Catalogo/catalogo-endoscopios.pdf>

2.2.4. Sensores.

2.2.4.1. Cuenta Metros

Módulo enconder HC-020K, este módulo se alimenta entre el rango de 4,5V y 5,5V. En cuanto a su tamaño es muy muy chico, tiene 2cm x 2 cm, esto hace que se pueda poner prácticamente en cualquier lugar, un vehículo, una máquina de correr, etc. 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 HIGH a la salida. Tiene una resolución de 0.01mm y una frecuencia de medición de 100KHZ, esto significa una altísima definición a gran velocidad. Esta característica es la que orienta este dispositivo a mediciones de velocidad. Obviamente que necesitamos un microcontrolador que pueda leer señales tantas veces por segundo. [12]

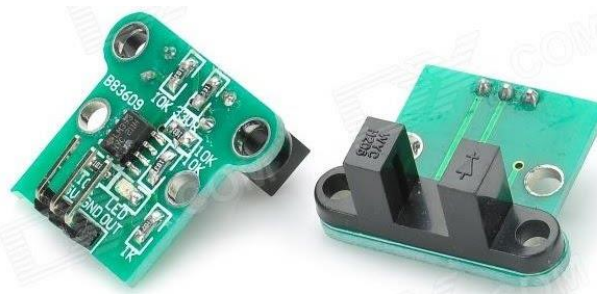


Figura 4. Encoder HC-020K. Tomado de <https://sites.google.com/site/myscratchbooks/home/projects/project-11-infrared-speed-sensing-module>

2.2.4.2. Porcentaje de la batería

Módulo sensor de voltaje Este módulo sensor de tensión puede detectar voltaje de 5V. El valor de tensión de entrada es de carácter analógico de 5V, entonces el voltaje de entrada del módulo de tensión es de no más de 25V (si el voltaje de entrada es de 3.3V utiliza sistemas de voltaje de entrada no más de 16.5V). Utiliza tecnología AVR de microchip de 10 Bits AD, por lo que la resolución de este módulo es de aproximadamente 0.00489V (5V/1023), por lo que el mínimo valor de tensión a detectar es de 0.02445V. Este módulo es compatible con la board Arduino, por lo que la tensión se puede detectar fácilmente y se puede supervisar la cantidad eléctrica a través de sistemas de comunicación interactiva como la batería en robots, controlar o monitorear el nivel de tensión que con el que se está alimentando una LCD1602 (comunicación I2C). Este módulo está basado en el principio resistivo de división de tensión, puede hacer que a través de las terminales de los bornes de color rojo el voltaje de entrada disminuya hasta cinco veces. [13]



Figura 5. Modulo sensor de voltaje. Tomado de <https://www.leantec.es/todos-los-productos/568-modulo-voltaje-shield-sensor-tension-voltaje-arduino-electronica.html>

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Metodología.

Para empezar con el desarrollo es de vital importancia contar con una metodología que presente todas las fases de desarrollo de la investigación, con el fin de integrarlas y ahorrar tiempo en rediseños innecesarios para el presente proyecto realizado. “DISEÑO DE UN SOFTWARE PARA EL CONTROL DE UN ROBOT PARA INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO” se aborda llevando a cabo diferentes etapas basado en información necesaria que se recolectara por medio de consultas bibliográficas, visitas de campos e información que brinde la empresa HYDROTECH INGENIERIA S.A.S. Todo esto contribuye a llegar a la edificación del prototipo en general. Como primera etapa se requiere tener una idea clara del diseño, por lo tanto es primordial tener en cuenta los componentes y partes electrónicas para finalizar con un diseño robusto del software y realizar un manejo adecuado.



Figura 6. Metodología del Proyecto. Elaborada por el autor.

El robot será controlado por medio de un software el cual contara con botones para el manejo hacia delante, hacia atrás y hacia los lados. También tendrá botones de gran importancia para el manejo del servo motor que moverán la cámara 90 grados, permitiendo observar los daños y los obstáculos que tienen dentro el alcantarillado. Adicional se va controlar el estado de la batería y una cuenta metros para saber la ubicación exacta del robot, permitiendo así realizar labores más concretas y recolectar datos importantes.

4. DISEÑO DEL SISTEMA

En muchos casos los programadores que deciden aprender a programar en la plataforma .NET tienen la siguiente duda: ¿Qué lenguaje de programación elegir para desarrollos en .NET? La plataforma .NET te permite programar en varios lenguajes básicamente en CLI o infraestructura de lenguaje común y una de las decisiones más críticas que debes tomar antes de hacer nada es decidir por cuál optar.

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de decidirse por un lenguaje de programación, no es solamente su capacidad o facilidad de uso, sino los aspectos sociales. Ya que se debe tener en cuenta la adaptación que hay por parte de la comunidad de uno u otro lenguaje. Esto es importante porque mide el grado de ayuda que nos vamos a encontrar para cada lenguaje, así como la base de código con la que podemos contar para acometer algunos proyectos.

4.1. Análisis del estado del arte

El estado del arte es una modalidad de la investigación documental que permite el estudio del conocimiento acumulado (escrito en textos) dentro de un área específica. Se utilizaba como herramienta para compilar y sistematizar información especialmente el área de ciencias sociales, sin embargo, en la medida en que estos estudios se realizaron con el fin de hacer balances sobre las tendencias de investigación y como punto de partida para la toma de decisiones, el estado del arte se posicionó como una modalidad de investigación de la investigación. Hoy en día se considera que en general, el estado del arte puede abordarse desde tres perspectivas fundamentales. Sea cual fuere el abordaje del estado del arte, se considera que su realización implica el desarrollo de una metodología resumida en tres grandes pasos: resumen, problema y solución. De esta manera se observa que la realización de estados del arte permite la circulación de la información, genera una demanda de conocimiento y establece comparaciones con otros conocimientos paralelos a este, ofreciendo diferentes posibilidades de comprensión del problema tratado; pues brinda más de una alternativa de estudio.

Se desarrolló una revisión bibliográfica la cual tiene como principal tema, diseño e implementación de software y robots para revisión de alcantarillados, con el fin de poder definir de manera directa los modelos, estrategias, técnicas y tecnologías que se han visto implicadas en el contexto del soporte social y redes de apoyo a nivel mundial, permitiendo tener de esta forma un sustento para captar y aplicar de forma beneficiosa los valores identificados en esta revisión al desarrollo del proyecto. [14]

Para efectos del buen planteamiento del ejercicio bibliográfico se definieron los siguientes lineamientos y características las cuales se tuvieron en cuenta para la selección de la información:

- Ventana cronológica de búsqueda: 15 Años
- Número mínimo de trabajos bibliográficos: 7 Referencias
- Marco geográfico: Mundial

Para la Búsqueda Bibliográfica. Se definieron unas características básicas para realizar la selección los documentos con mayor prevalencia para la realización del ejercicio de búsqueda bibliográfica. Definiendo de esta forma los siguientes ítems:

- Debe de ser documentos de validez académica o científica.
- Tener el aval de alguna publicación, entidad educativa o gubernamental.
- Estar publicados o indexadas a las bases de datos académicas.

Haciendo uso de las bases de datos proporcionadas por la Universidad de Cundinamarca, en la cuales se tuvo acceso a material académico y científico certificado, el cual fue la base primordial del actual apartado y teniendo en cuenta los archivos relacionados por buscadores, tal y como se evidencia en el tabla 1.

Tabla 1. Criterios de búsqueda. Elaborada por el autor. Tomada y modificada de file:///I:/Informe%20Final.pdf

Herramientas de búsqueda	Tipo de documentos	Rango Cronológico
<ul style="list-style-type: none"> • Buscadores • Bases de Datos • Bibliotecas Virtuales • Revistas Indexadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Artículos • Páginas Web • Revistas • Proyectos 	2002 - 2017

Para el desarrollo de Fichas Bibliográficas. Con el fin de poder realizar una clasificación mucho más ordenada y eficaz, se procedió a la creación de fichas bibliográficas en las cuales se relaciona la información importante de estos documentos. Para su formato se definió que incluyera la siguiente información:

- **Título de la referencia:** se indica el título de la referencia consultada.
- **Autor(es):** se especifican los autores del documento en cuestión.
- **Año de publicación:** muestra el año de publicación del documento. Permitiendo la identificación de la ventana cronológica que tiene el documento esperando que se encuentre dentro de la permitida por los parámetros de selección.
- **Medio que publica:** ayuda a identificar la certificación como documento académico o científico, además de que permite relacionar el país del que proviene la referencia estudiada.
- **Url:** permite demostrar la existencia del documento en línea y brindar un apoyo en caso de pérdida del material bibliográfico.
- **Resumen (Abstract):** contiene el resumen del documento y brinda una perspectiva general del mismo.
- **Problema:** Después de la lectura de la referencia seleccionada, se plasma la problemática abordada por el mismo, con el fin de poder identificar de manera clara las hipótesis planteadas en el mismo.
- **Solución:** en este apartado se plasman las Soluciones, hipótesis, recomendaciones y metodologías que se usaron para dar solución a la problemática en cuestión.

Estos espacios se ven reflejados en el formato ilustrado por la tabla 2. Siendo este la ficha implementada para la caracterización de cada documento.

Tabla 2. Formato de ficha bibliográfica. Elaborada por el autor. Tomada y modificada de <file:///I:/Informe%20Final.pdf>

TITULO DE LA REFERENCIA:	
AUTOR(es):	AÑO DE PUBLICACIÓN
MEDIO QUE PUBLICA:	
URL:	
RESUMEN (Abstract):	
PROBLEMA:	
SOLUCIÓN:	

El desarrollo de estos se ve evidenciado en el ANEXO 5, en donde se encuentran relacionados en el formato de fichas bibliográficas los artículos y documentos, identificados en la fase de búsqueda, con un número total de 7 documentos estudiados.

4.2. Identificación del lenguaje y plataforma de desarrollo

Teniendo en cuenta que el lenguaje de programación usado para el proyecto es C#, ya que hoy en día la mayor parte de los institutos y las facultades enseña o bien sea C++ o Java. Debido a esto muchas personas se sienten más cómodas usando la sintaxis C#, casi idéntica a las posteriormente nombradas, generándoles mayor fluidez y adopción para el desarrollo en el entorno industrial. Es por eso que existen algunos índices exactos que proporcionan información interesante, en este caso se habla de TIOBE que se basa en analizar resultados de búsquedas en más de 110 buscadores en todo el mundo tratando de determinar que lenguajes son más populares entre los desarrolladores. En el ANEXO 1 se podrá ver con mayor claridad la comparación de algunos lenguajes de programación.

Según otros índices como PYPL que se basa en la disponibilidad de cursos y tutoriales por cada lenguaje nos muéstralos resultados en la tabla 3. [15]

Tabla 3. Índices PYPL. Tomada de <https://www.campusmvp.es/recursos/post/CSharp-o-VBNET-que-lenguaje-debo-aprender.aspx>

Feb 2015	Feb 2014	Change	Programming Language	Ratings	Change
1	1		C	16.488%	-1.85%
2	2		Java	15.345%	-1.97%
3	4	▲	C++	6.612%	-0.28%
4	3	▼	Objective-C	6.024%	-5.32%
5	5		C#	5.738%	-0.71%
6	9	▲	JavaScript	3.514%	+1.58%
7	6	▼	PHP	3.170%	-1.05%
8	8		Python	2.882%	+0.72%
9	10	▲	Visual Basic .NET	2.026%	+0.23%
10	-	▲▲	Visual Basic	1.718%	+1.72%
11	20	▲▲	Delphi/Object Pascal	1.574%	+1.05%
12	13	▲	Perl	1.390%	+0.50%

Para la popularidad dentro de los proyectos Open Source esta GitHub donde se puede ver todo lo relacionado con software libre, según los datos nos muestra la tabla 4 con sus respectivas posiciones.

Tabla 4. Ranking de popularidad. Tomada de <https://www.campusmvp.es/recursos/post/CSharp-o-VBNET-que-lenguaje-debo-aprender.aspx>

Worldwide, Mar 2015 compared to a year ago:				
Rank	Change	Language	Share	Trend
1		Java	24.3 %	-0.6 %
2		PHP	11.4 %	-1.5 %
3		Python	10.7 %	+1.1 %
4		C#	8.8 %	-0.6 %
5		C++	8.0 %	-0.4 %
6		C	7.6 %	+0.1 %
7		Javascript	7.0 %	-0.5 %
8		Objective-C	6.0 %	-0.0 %
9		Matlab	3.0 %	-0.0 %
10	↑↑	R	2.7 %	+0.6 %
11	↑↑↑↑↑	Swift	2.7 %	+3.0 %
12	↓	Ruby	2.5 %	-0.0 %
13	↓↓↓	Visual Basic	2.2 %	-0.7 %
14	↓	VBA	1.5 %	-0.1 %
15	↓	Perl	1.3 %	-0.3 %
16	↓	lua	0.5 %	-0.1 %

© Pierre Carbonnelle, 2015

El lenguaje escogido para la elaboración de este proyecto es C# debido a su usabilidad y especificaciones, en el ANEXO 1 se realizaron diferentes comparaciones con otros lenguajes de programación. Uno de los aspectos más relevantes es la velocidad, ya que a comparación de java que es uno de los lenguajes frecuentemente más usados por los usuarios, C# presenta una velocidad mayor y no debe depender de las actualizaciones. También muestra mayor fluidez en Windows al contar con por lo menos 4 gigas de espacio libre y existe un rango más amplio y definido que los que se encuentran en c, c++ o java. [16]

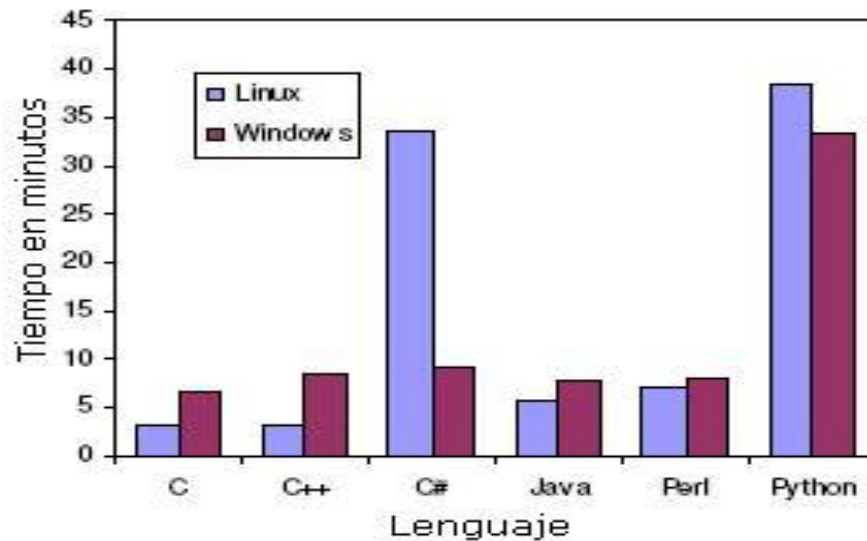


Figura 7. Comparación de velocidad. Tomado de <http://www.bioinformaticos.com.ar/una-comparacion-de-lenguajes-de-programacion-usados-en-bioinformatica/>

Este lenguaje de programación fue más adaptable para el desarrollo de la interfaz gráfica de dicho proyecto a desarrollar, gracias a su usabilidad y comunicación. Brindando a los usuarios poder interactuar y adquirir algunos conocimientos básicos, ya que esta plataforma sirve para hacer aplicaciones de escritorio, aplicaciones web y móviles.

4.3. Selección de la plataforma de procesamiento de información

Se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios. En este proyecto la placa de desarrollo utilizada fue ARDUINO MEGA, ya que es una plataforma de prototipo electrónica de código abierto basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Arduino puede percibir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. También fue escogida por su bajo costo en comparación a otras placas de desarrollo. Teniendo en cuenta que existe variedad de placas para el uso de diferentes proyectos.

Básicamente la plataforma más usada hoy en día es el arduino ya que presta mayor facilidad para programar, cuenta con open source, tiene variedad de referencias de placas de desarrollo, su costo es mucho más bajo que las demás y podemos tener acceso a infinidad de aplicaciones.

También es una placa de hardware libre integrada con un microcontrolador y una interfaz para programarlo. Está diseñado y construido para que sea muy fácil utilizarlo y en él se pueden desarrollar proyectos multidisciplinarios. La placa se puede comprar a un precio accesible. Toda la información del esquema circuital o el PCB son de licencia libre y se encuentran en Internet muy fácilmente, sin dudas esa es una de las ventajas de arduino respecto a otras opciones.

El Hardware es una placa que tiene un microcontrolador atmel y varios puertos de entrada/salida digitales y analógicos, existen complementos conocidos como (shields), estos complementos brindan una mayor autonomía a programador y usuario de la placa y hacen de arduino un entorno muy amigable y simple de trabajar. A continuación en la tabla 5 se comparan algunos modelos más usados de ARDUINO. [17]

Tabla 5. Comparación de características de algunos modelos de Arduino. Tomado de <http://sabetecnologia.blogspot.com.co/2013/03/tabla-comparativa-de-arduinios.html>.

Característica de Arduino	UNO	Mega 2560	Leonardo	DUE
Tipo de microcontrolador	Atmega 328	Atmega 2560	Atmega 32U4	AT91SAM3X8 E
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz
Pines digitales de E/S	14	54	20	54
Entradas analógicas	6	16	12	12
Salidas analógicas	0	0	0	2 (DAC)
Memoria de programa (Flash)	32 Kb	256 Kb	32 Kb	512 Kb
Memoria de datos (SRAM)	2 Kb	8 Kb	2.5 Kb	96 Kb
Memoria auxiliar (EEPROM)	1 Kb	4 Kb	1 Kb	0 Kb

Para este proyecto se pudo adecuar la tarjeta Raspberry Pi ya que es una placa muy completa para diversidad de proyectos. En el ANEXO 2 se muestran algunas diferencias y especificaciones que presentan estas placas de desarrollo, debido a esto el ARDUINO MEGA es la placa que más se ajustó ya que cuenta con buena velocidad, pines suficientes para lo que se requería, entradas y salidas analógicas, gran capacidad de memoria y un costo ajustable al presupuesto estimado.

4.4. Selección de la cámara

Una cámara analógica es una cámara tradicional utilizada en los sistemas CCTV. Envía video sobre cable a VCRs o DVRs. Las cámaras IP son todas las cámaras digitales que pueden enviar imágenes, por cable, directamente a la red. Muchos de los sistemas de cámara de seguridad de hoy en día son sistemas híbridos que incorporan tanto componentes analógicos como digitales.

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 y ser visualizadas en la plataforma desarrollada.

Al momento de seleccionar una cámara para inspección de tuberías debemos tener en cuenta como mínimo 5 criterios básicos, Resolución, Lente, Material, Visión Nocturna y Movimiento, con el fin de suplir adecuadamente las necesidades del objetivo a cubrir. Se puede ver con mayor claridad en el ANEXO 3 donde se menciona cada uno de los criterios y se describe un poco sobre las distintas cámaras usadas para CCTV. [18]

La cámara que se uso es 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.

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, 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. A continuación se muestra una tabla comparativa, dando una calificación de 1 a 5 con distintas características. [19]

Tabla 6. Comparación de características entre dos sistemas diferentes de cámaras. Tomada y modificada de <https://www.hidrotec.com/servicios/inspeccion-tuberias-camara-tv/>.

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

Finalmente no se probaron otras cámaras ya que con esta se obtuvieron buenos resultados. Facilitándonos la ubicación con los servos para el movimiento que se iba realizar por medio de la interfaz. Otro punto a favor es el costo a diferencia de otras cámaras que se tenían pensadas usar para el proyecto. Además se tuvo en cuenta el peso de esta cámara para mejor movilidad del robot.

En otros casos se podría usar cámaras para CCTV HD ya que nos van a brindar una imagen nítida para poder observar con mayor claridad en la interfaz, contando con una alta resolución, autoenfoco y mejor iluminación.

4.5. Selección de los sensores

La interfaz gráfica diseñada para el proyecto va tener varios aspectos importantes, uno de ellos es la visualización de la distancia recorrida por el robot y otra va ser el estado en que se encuentra la batería. 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. En el ANEXO 4 se identifican y se describen un poco la variedad de sensores existentes. [20]

Para la utilización de algunos sensores en este proyecto se tienen en cuenta algunas características que presentan estos al momento del desarrollo.

- **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.
- **Repetibilidad:** Es 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:
- **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.
- **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.
- **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.

Teniendo en cuenta alguna de estas características principales que van a tener los sensores usados para este proyecto, también se tienen en cuenta el tipo en que se clasifican.

- **Tipo B:** Sensores con salida por trenes de pulso. (Sensores incrementales rotativos, encoders Y sensores Incrementales lineales).
- **Tipo D:** Sensores con salida analógica, amplificador y conversor electrónico integrado que proporcionan una salida que puede evaluarse directamente.

Basándonos en la información anteriormente nombrada, se decidió usar el módulo encoder HC-020K para poder ver en la interfaz gráfica la distancia recorrida por robot. También se usó el módulo sensor de voltaje para que el operario pueda visualizar desde la interfaz el porcentaje en que se encuentra la batería. Estos dos módulos se adaptan mejor al desarrollo del proyecto, por su tamaño y porque su bajo costo a comparación de otros sensores de similares especificaciones.

4.6. Selección del cable para la comunicación

Para realizar la comunicación se tuvieron en cuentas varios aspectos como: flexibilidad, rentable y perdidas. Teniendo en cuenta esto se usó finalmente el cable UTP categoría 6, ya que soporta hasta 250 MHZ de transmisión, cuenta con especificaciones para el ruido del sistema, es un cable de alambres de cobre trenzados y puede soportar velocidades de 1GB, posee estrictas reglas del ruido del sistema y diafonía. Existen variedad de categorías del cable UTP técnicamente avanzados. A continuación se muestra una tabla comparativa con algunas características de las diferentes categorías de cable UTP. [21]

Tabla 7. Características de distintos modelos de cable UTP. Tomada y modificada de <https://www.openup.es/informacion-de-cables-cat5-cat5e-cat6-cat7-y-cat7a/>

	CATEGORIA 5	CATEGORIA 5e	CATEGORIA 6
FRECUENCIA	100 MHZ	100 MHZ	250 MHZ
PERDIDA DE RETORNO	160 dB	20.1 dB	20.1 dB
IMPEDANCIA	100 ohms	100 ohms	100 ohms
ATENUACIÓN	22 db	22 db	19.8 dB

5.IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

5.1. Interfaz gráfica C#

La interfaz desarrollada en el lenguaje de programación c# cuenta con distintas opciones como se ve en la figura 8, para dicho proyecto se debían tener en cuenta distintos aspectos para la ejecución del software ya que el robot que va ser controlado se va encontrar en diferentes condiciones dentro de diferentes tuberías, se debe tener presente el movimiento del robot, movimiento de la cámara, estado de la batería, distancia recorrida, selección de la cámara, empezar y detener grabación y el puerto.

La interfaz está diseñada a medida para variedad de usuarios, para lo cual se hizo y se incluyeron distintos aspectos de alta relevancia para la población a la cual se va apoyar, buscando brindar un buen uso para el control del prototipo que se va encontrar dentro del alcantarillado, se pueden definir algunos aspectos de vital importancia en el diseño de la interfaz gráfica.

- El diseño debe ser igualmente utilizable por cualquier tipo de usuario.
- Debe ser simple e intuitivo, fácil de comprender independientemente de la experiencia, conocimientos o idioma.
- El diseño proporciona la información necesaria para su uso al usuario, independientemente de las condiciones ambientales y sus capacidades sensoriales.
- El diseño es resistente a los errores; minimiza los riesgos y las consecuencias adversas de los errores accidentales y no intencionados.
- El diseño puede ser usado eficientemente y confortablemente con un mínimo de fatiga.
- El entorno proporciona un espacio y condiciones adecuados para su uso con independencia del tamaño corporal, postura y movilidad del usuario.

El diseño inicial de la interfaz gráfica se ve reflejado en la figura 8. Luego de la determinación de la interfaz gráfica inicial, se procede a realizar los cambios pertinentes a la misma, para lograr un mejor manejo y para obtener algunos datos importantes, los cuales incluyen cambios en su estructura base, modificación de los menús, submenús, reorganización de posiciones, modificación de código y creación de los contenidos actuales de la página. El resultado de los cambios se ve reflejado en la figura 20.

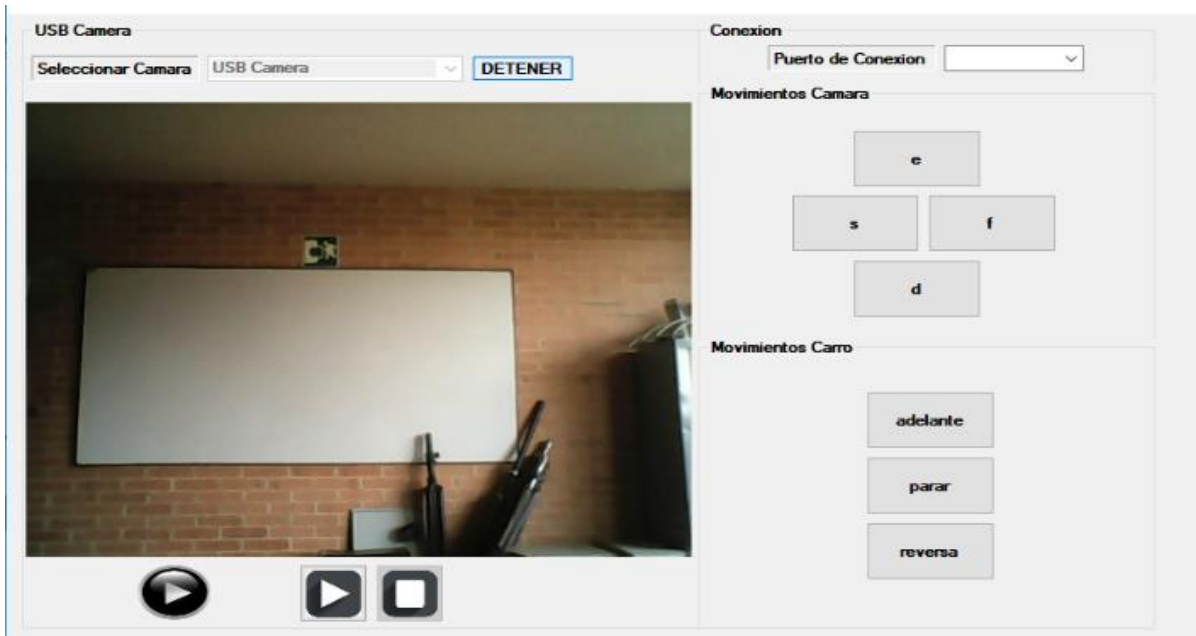


Figura 8. Interfaz gráfica inicial. Elaborada por el autor.

5.2. Conexión con plataforma de procesamiento de información

A continuación se muestra el esquema de todas las conexiones que se realizaron por medio de la placa de desarrollo ARDUINO MEGA, teniendo en cuenta los motores para el movimiento, dos puente h para permitir el giro de los motores, los servos para el movimiento de la cámara, el sensor de voltaje para la batería lipo, el módulo encoder para saber la distancia recorrida por el prototipo. El código generado para el correcto funcionamiento se puede observar en el ANEXO 6.

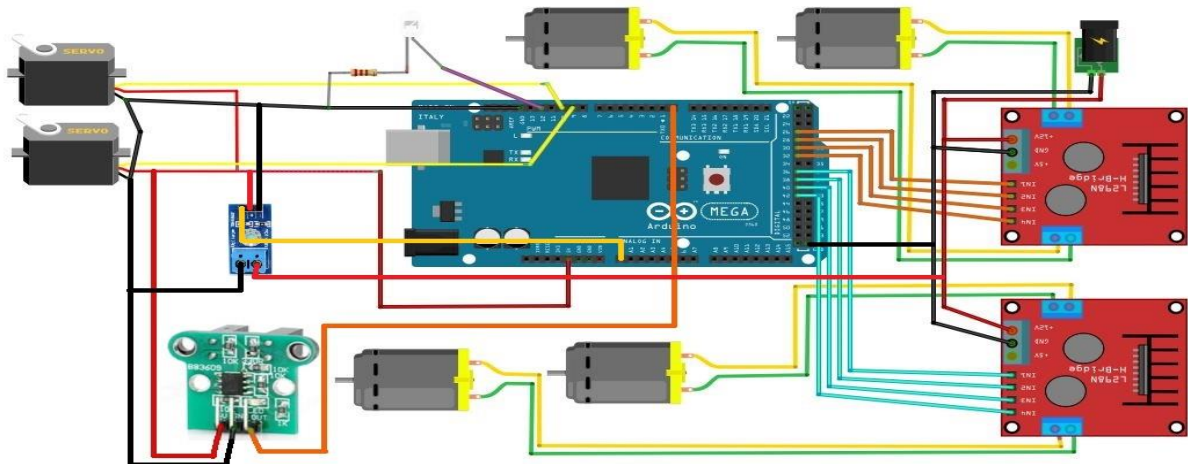


Figura 9. Esquema de conexiones. Elaborada por el autor.

Para el desarrollo de este proyecto es necesario la conexión que existe entre el programa creado en Arduino y el proceso de C# para la creación de la interfaz gráfica. A continuación se muestra la figura 10 del proceso que se lleva en general y luego unos pequeños diagramas que muestran el proceso que se acarreó con cada una de las partes requeridas. También en el ANEXO 6 se puede ver el proceso del código en C# relacionado con el puerto usado en Arduino.

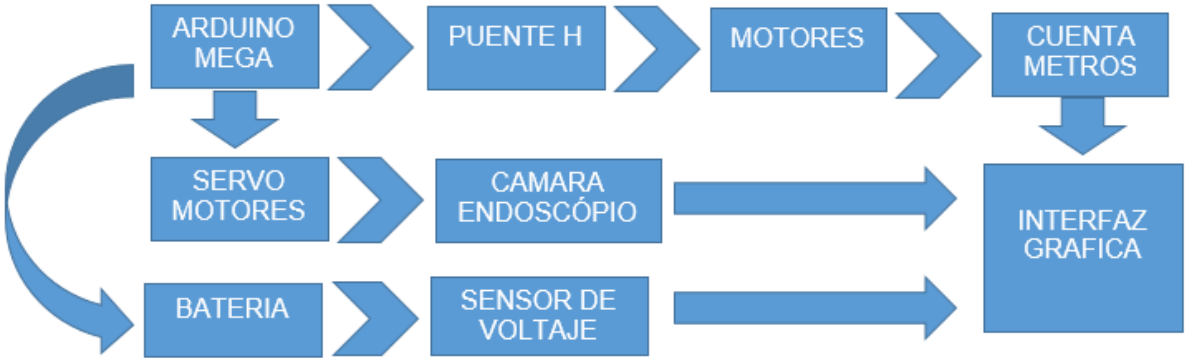


Figura 10. Proceso general de las conexiones. Elaborada por el autor.

5.2.1. Variables

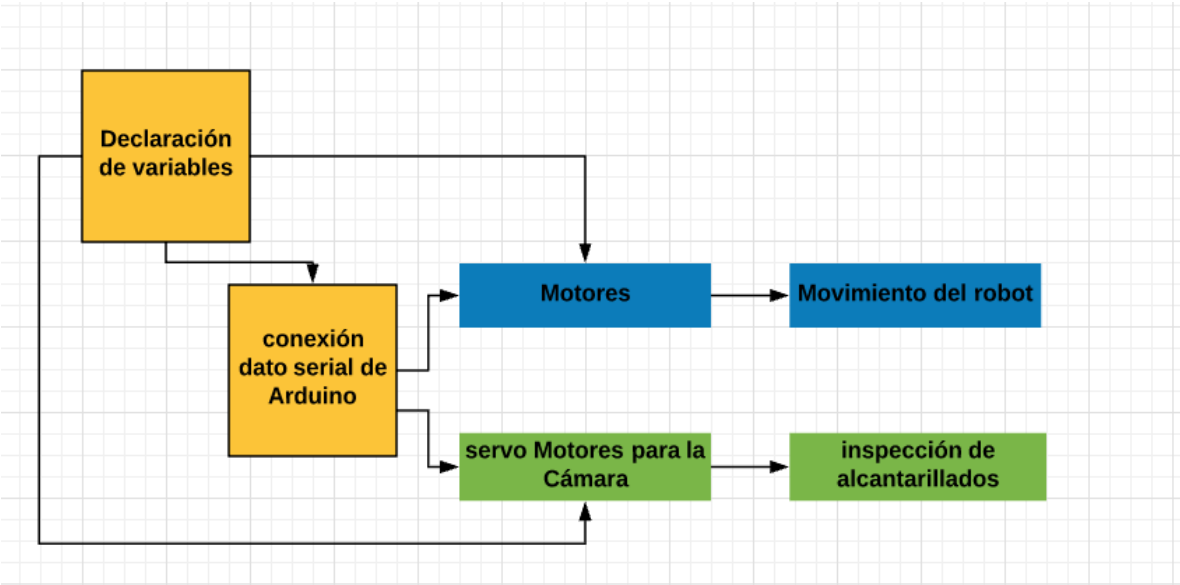


Figura 11. Declaración de variables. Elaborada por el autor.

El proyecto debe tener elementos bases para realizarlo con éxito, ARDUINO es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open – source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. En este caso se hizo el programa base para algunas comunicaciones del robot y de vital importancia para realizar paso a paso el software. En el programa se va reflejar todos los requerimientos que se van a usar para dicho desarrollo, como por ejemplo: motores, servos, sensor para el estado de la batería, distancia recorrida por el robot, etc. Por medio de este programa se realiza con más facilidad la interfaz en C# (C SHARP). Inicialmente se declaran todas las variables que van a ser utilizadas, como se observa en la figura 11.

5.2.2. Motores

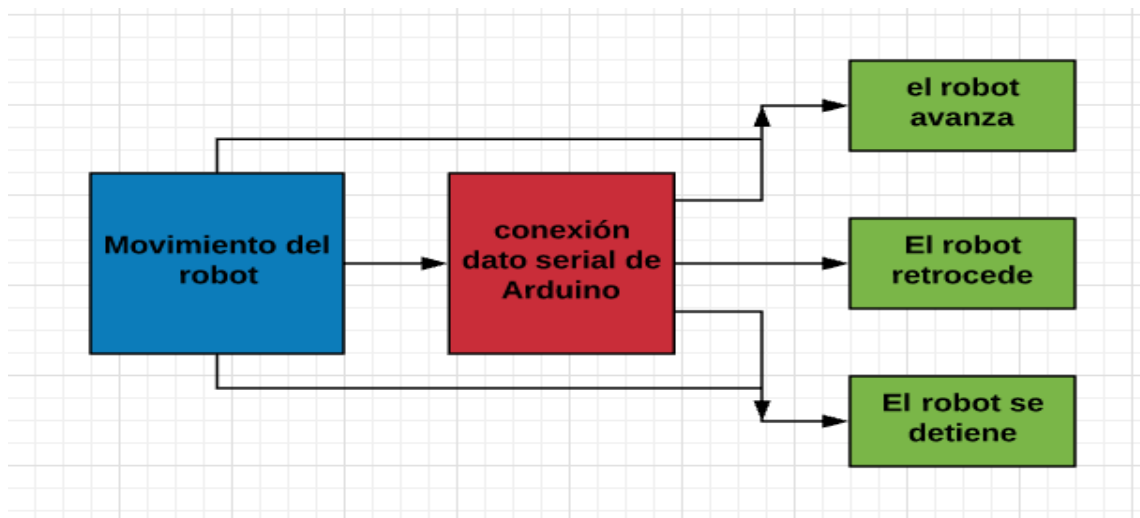


Figura 12. Conexión con arduino para el movimiento de los motores. Elaborada por el autor.

Antes de ingresar los botones en la interfaz gráfica, se realizan algunas pruebas con el teclado del computador para dejar claro el movimiento que va tener el robot. Básicamente se realizan condiciones para saber en qué momento se va mover hacia adelante, atrás y en qué momento se va detener, estas condiciones vienen dadas por un dato que va ser ingresado y dependiendo la condición así mismo va actuar el robot.

El movimiento del robot por medio del software es de vital importancia ya que no se deben presentar inconvenientes de atascamiento, por eso se usaron 4 motores con las especificaciones adecuadas, teniendo en cuenta en peso total del robot y la velocidad alcanzada. En la figura 12 se ve reflejado el proceso para el movimiento.

Este motor se usa en maquinaria que necesiten de una fuerza no mayor a 11.5KgrCm, así mismo se verá reflejada la cantidad de corriente de por lo menos 140mA que es capaz de soportar este motor.

5.2.3. Cuenta metros

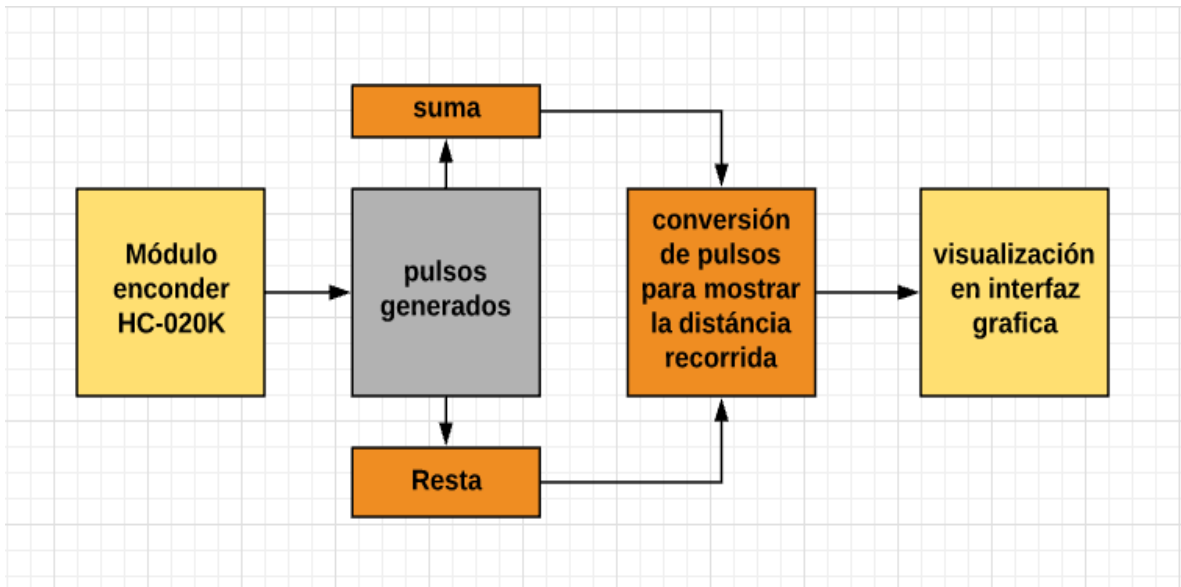


Figura 13. Conexión con arduino para saber la distancia recorrida por el robot. Elaborada por el autor.

Para él cuenta metros debemos tener claro la función que va sumar o va restar los pulsos del enconder, para que luego el sensor envíe los pulsos a la función counter y luego pasarlos a la variable “n”. El proceso que se lleva a cabo se puede observar con mayor claridad en la figura 13.

Luego del proceso anteriormente nombrado, se tiene en cuenta la ecuación para saber a cuanto equivale en centímetros cada pulso enviado y así poder multiplicarlos para que cada vez que haya un pulso se vaya sumando a la distancia recorrida.

Este módulo va estar ubicado cerca a la rueda y conectado directamente al arduino para poder generar datos a medida que la rueda este en movimiento, teniendo los datos se hace una relación para poder observar la distancia recorrida.

La interfaz gráfica nos va permitir mostrar la distancia recorrida por el robot. Como se ha mencionado anteriormente, este proceso va ser de gran ayuda para facilitar a los operadores poder tener una ubicación clara y realizar respectivos trabajos dentro de las tuberías.

5.2.4. Estado de la batería

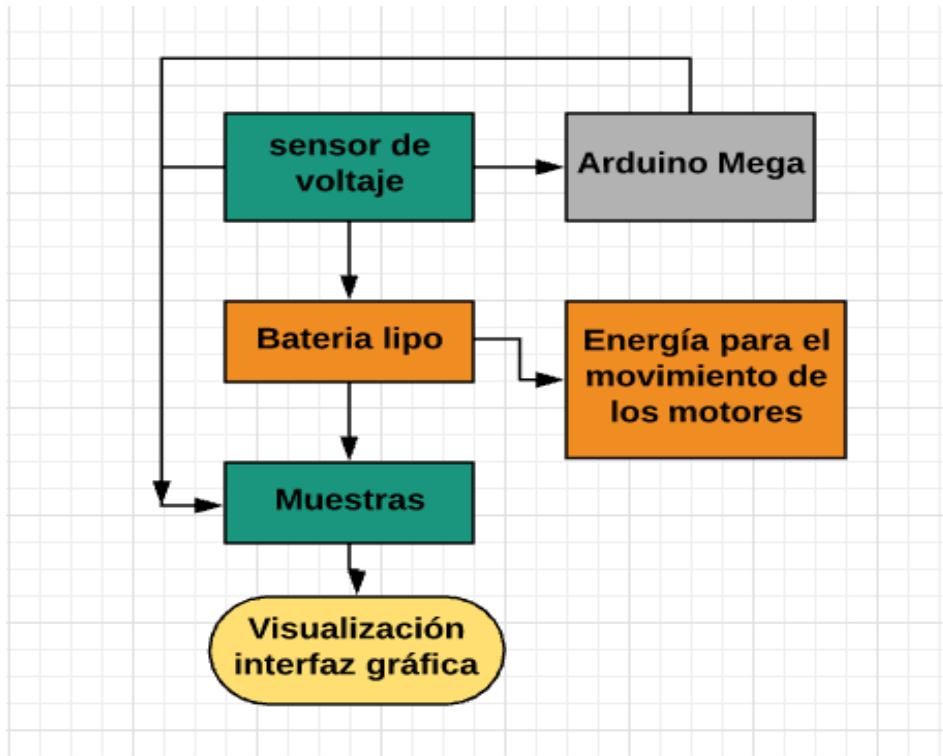


Figura 14. Conexión con arduino para saber el porcentaje de la batería. Elaborada por el autor.

En la figura 14 se puede observar el proceso que se realiza para la visualización en la interfaz gráfica el estado de la batería. Se tiene en cuenta que el robot incorpora una batería lipo de gran capacidad y con muy buenas especificaciones, esta es la que se encarga de dar toda la energía para el movimiento de los 4 motores que lleva el robot. Se debe tener en cuenta que en el momento de ingresar el prototipo a las tuberías, la batería debe estar completamente cargada para evitar pérdida de movimiento y finalización del trayecto realizado.

Es por eso que se hace una síntesis matemática para poder generar el código y luego llevarlo a la interfaz donde se va poder observar el estado en el que se encuentra la batería, teniendo en cuenta que el 100% va ser 7.7 v.

5.2.5. Servos y cámara

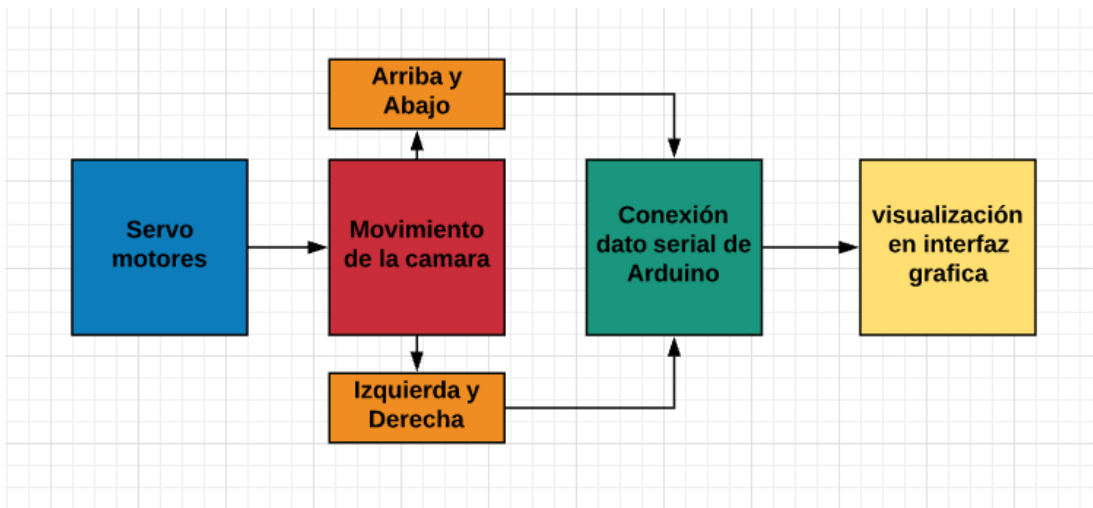


Figura 15 Conexión con arduino para el movimiento de la cámara. Elaborada por el autor.

Para este proyecto se usaron dos micro servomotor MG905 ya que es pequeño y ligera, con piñonera metálica, de alta calidad y buena velocidad. Este servo está diseñado para proporcionar un torque de hasta 2.2 Kgr/ cm. Este micro servo funciona bajo periodo de 2ms, mediante un PWM con un periodo de 20ms, por lo que a través de esta misma señal, varios servomotores pueden llegar a ser programados bajo un mismo dispositivo (dependiendo de las aplicaciones a desempeñar). Se escogió por su calidad en especificaciones, precio asequible y excelente rendimiento. Se usa en variedad de aplicaciones pero en este caso para el movimiento de la cámara que lleva incorporado el robot.

Los servos serán alimentados por una batería lipo, diferente a la que alimenta los motores. Estos servos tienen un rango rotacional de 90° permitiendo al operador ver horizontal y verticalmente con claridad el interior del alcantarillado por medio de la interfaz gráfica.

6.PRUEBAS

En el actual numera se exponen todas y cada una de las fases que desarrollaron a nivel de pruebas Se realizaron distintas para comprobar el correcto funcionamiento con las características necesarias de la interfaz gráfica. Se debe tener en cuenta que el robot se va exponer a distintas tuberías, unas más angostas que otras, en algunas va circular agua, barro, residuos, piedras y otras van a presentaran grietas. Para ejecutar con éxito el proyecto se debe tener en cuenta que el software no va fallar en ninguna de estas circunstancias y para eso se hicieron pruebas básicas para el movimiento de los motores, de la cámara, para saber si había perdida de conexión, para saber cuánto tiempo tarda en descargar la batería teniendo en cuenta que el robot puede permanecer dentro de una tubería de 1 a 2 horas dependiendo el trabajo a realizar, algunas pruebas de la distancia recorrida por el robot para saber con exactitud si el valor arrojado coincide con el que se observa en la interfaz.

6.1. Prueba de conexión con cable UTP

Siempre se habló de usar cable UTP para el proyecto, ya que presenta un bajo costo a comparación de otros cables que se ven en distintos proyectos. Inicialmente se trataron de hacer pruebas con un cable categoría 5 ya que según las especificaciones debería funcionar correctamente, al momento de hacer la prueba nos dimos cuenta que generaba conflicto haciendo interferencia con la imagen a medida que avanzaba el robot, debido a este inconveniente se investigó un poco más acerca de las especificaciones de las diferentes categoría. Se pudo concluir que la distancia que estaba recorriendo el robot era muy extensa para las especificaciones que trae el cable categoría 5, entonces se decidió optar por el cable UTP categoría 6 para exteriores, con este cable se hicieron pruebas con el robot en un alcantarillado privado de la empresa HYDROTECH que tiene una distancia aproximada de 110 metros, obteniendo así buenos resultados ya que no se presentaron perdidas en la conexión, pudiendo tener una imagen clara del interior de la tubería. A continuación se muestra la tabla 8 comparativa de las especificaciones que trae cada categoría.

Tabla 8. Diferencia de especificaciones de 2 categorías de cable UTP. Elaborada por el autor.

ESPECIFICACIONES	CATEGORIA 5	CATEGORIA 6
FRECUENCIA	100 MHZ	250 MHZ
PERDIDA DE RETORNO	160 dB	20.1 dB
IMPEDANCIA	100 ohms	100 ohms
ATENUACIÓN	22 db	19.8 dB

6.2. Prueba de la imagen transmitida.

Inicialmente se usó una cámara bastante básica con conexión al puerto USB del computador o celular. Es una cámara endoscopio que trae un sensor CMOS y es compatible con Android, Windows 7, Windows vista, Windows 8, Windows XP y Windows 10. Con un formato de video mjpeg y con una resolución aceptable de 480p, a su vez permite un ángulo de visión de 85°. Al momento de hacer las pruebas fue una buena decisión optar por esta ya que sus especificaciones se ajustaban al prototipo, en el momento de instalarla fue más fácil por su sistema de conexión al puerto USB, por su ligero peso y su pequeño tamaño, ajustándose así al tamaño de los servos por los cuales iban a generar el movimiento. Cuando el robot se encontró dentro de la tubería se pudo observar con claridad la imagen transmitida como se puede ver en la figura 16 y 17, otra característica que fue de gran ayuda es la variación de la luz que trae incorporada la cámara, ya que si bien sabemos las tuberías presentan oscuridad en un 90%.

Luego decidió hacerse una prueba con una cámara HD para obtener una mejor imagen, ya que cuentan con mejores características, de igual manera la conexión iba seguir siendo por medio del cable UTP. En el momento de hacer las pruebas el peso incremento a diferencia de la anterior prueba, esta cámara no se acomodaba con facilidad y al momento de estar dentro de la tubería se presentaba un poco estorbosa quitándole movilidad al carro y fuerza a los motores. Se decidió dejar la cámara endoscopio ya que si se optaba por la cámara HD se incrementaba el costo ya que tocaba remplazar los motores, los servos y reestructurar algunas bases del robot para mejor manejo.

A continuación se muestran las figuras 16 y 17 capturadas dentro del alcantarillado de la empresa HYDROTECH, se tuvo en cuenta que la imagen transmitida por la cámara endoscopio no fue deficiente a comparación de la cámara HD.

La imagen transmitida por la cámara endoscopio como se puede apreciar en la figura 16, se realizó la prueba reduciendo los FPS (fotogramas por segundo), teniendo en cuenta que en el programa se usaban 30 que es la velocidad normal que se maneja en la grabación y viene dada por la librería del programa, al momento de bajar los fotogramas la grabación se empieza a ver más lenta y se pierden partes.



Figura 16. Imagen transmitida por cámara endoscopio. Elaborada por el autor.

La prueba tomada con la cámara HD se ve un poco más clara pero teniendo en cuenta los mismos 30 FPS que vienen por defecto en la librería del programa, al momento de bajar y subir los fotogramas la imagen varía, pero sigue teniendo la misma nitidez esta cámara.

Otro de los puntos clave es el tiempo que puede tardar la cámara en visualizar, es decir la latencia, ya que puede producirse una demora en la propagación y transmisión de paquetes dentro de la red. En el programa se usó una latencia de 1 segunda para evitar pérdidas por la distancia entre los dos puntos que quieran establecer la comunicación, y las redes o saltos intermedios por los que tengan que pasar los paquetes.



Figura 17. Imagen transmitida por cámara HD. Elaborada por el autor.

6.3. Prueba movimiento del robot

En la construcción del robot se hicieron pruebas con motorreductores de 6v que entreguen un par de torsión de salida superior capaz de mover el robot con facilidad. También por cuestiones de presupuesto y para tener un tamaño más reducido del prototipo. El robot nuevamente se introdujo en la tubería, teniendo fallas de atascamiento al no poder superar algunos obstáculos generando que algunos motores se dañaran por la fuerza que ejercía, ya que requería mayor potencia debido a que el robot cuenta con algunos elementos de mayor peso. Finalmente se usaron motorreductores de mayor tamaño y potencia. Al momento de tener esto claro se pudo realizar con éxito el programa para insertar los botones que van a mover el robot por medio de la interfaz, permitiendo hacer nuevamente la prueba en el mismo alcantarillado, el robot se pudo manejar perfectamente, no genero atascamiento y avanzo con fluidez. También se tuvo en cuenta el módulo L298N para el control de los motores, ya que este dispositivo proporciona la corriente necesaria para el control de motores para aplicaciones de robótica como en nuestro caso. A continuación se muestra una tabla comparativa de las especificaciones de los motores que se usaron para las pruebas y una tabla con las diferentes acciones que genera el puente h, como se puede observar en la tabla 9. [22]

Tabla 9. Acciones PUENTE H. Tomado de <http://panamahitek.com/el-puente-h-invirtiend-el-sentido-de-giro-de-un-motor-con-arduino/>

S1	S2	S3	S4	Resultado
1	0	0	1	El motor gira en <i>avance</i>
0	1	1	0	El motor gira en <i>retroceso</i>
0	0	0	0	El motor se detiene bajo su inercia
1	0	1	0	El motor frena (<i>fast-stop</i>)
0	1	0	1	El motor frena (<i>fast-stop</i>)
1	1	0	0	Corto circuito
0	0	1	1	Corto circuito
1	1	1	1	Corto circuito

Tabla 10. Especificaciones de 2 modelos diferentes de motores. Elaborada por el autor.

ESPECIFICACIONES	MOTORREDUCTOR JA12-N20-500	MOTORREDUCTOR LT37GB90-3540
Voltaje de operación	6-12v	24v
Velocidad sin carga	1000 RPM	80 RPM
Velocidad con carga	800 RPM	70 RPM
Torque nominal	0.3 KG.CM	7 KG.CM

6.4. Prueba estado de la batería

Se realiza la prueba para poder saber el tiempo que dura en descargarse la batería en constante movimiento el robot. Se debe tener en cuenta que el operario que manipule el prototipo debe asegurarse cada vez que vaya realizar un trabajo que la batería este 100% cargada para evitar que este se quede dentro de la tubería sin movimiento. La batería lipo debe cargarse especialmente con un dispositivo BC-4S15D con balance de carga, dura aproximadamente 20 minutos en cargar al 100%, es decir 7.71V. Luego de esto se realizó la prueba dentro de la misma tubería de la empresa HYDROTECH, donde el robot estuvo en constante movimiento durante 40 minutos, al terminar las pruebas se volvió a conectar la batería al dispositivo de carga y finalizó con un voltaje de 3,86 como se muestra a continuación en las figuras 18 y 19.

Tabla 11 Comparación de los tipos de baterías. Tomado de <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/4974>

Tipo de celda	Tensión	Capacidad	Densidad	Resistencia	Recargable
Alcalina	1.5 Vcd		Alta	Alta	No
Litio-Ion	1.5 Vcd		Muy alta	Pequeña	Si
Níquel Meta Hidruro	1.2 Vcd		Alta	Muy pequeña	Si
Litio-Polímero (Lipo)	3.6 Vcd	2C-5C (10C)	Muy alta	Extremadamente pequeña	Si
Ácido de plomo	2 Vcd		Baja	Muy pequeña	Si



Figura 18. Batería con carga al 100%. Elaborada por el autor.



Figura 19. Voltaje de la batería luego de 1 hora de uso. Elaborada por el autor.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta las diferentes pruebas que se realizaron para definir el correcto funcionamiento del prototipo, se obtuvieron resultados excelentes con respecto a la comunicación, evitando pérdidas en la transferencia y superando distancias superiores a 60 metros lineales, capturando imágenes con buena resolución por medio de la cámara endoscopio y generando una visión panorámica con su movimiento horizontal y vertical formado por los servo motores, superando obstáculos y evitando atascamientos. El resultado final y más esperado es el correcto manejo del software por medio del operario, ya que el robot va ser manejado y controlado desde el exterior del alcantarillado.

El operario encargado para el manejo del software no requiere de gran conocimiento, ya que es bastante sencillo y se va poder interactuar con él. A continuación se muestran algunos pasos que requiere el personal para tener un óptimo funcionamiento. También se podrá ver paso a paso la guía para el manejo adecuado del software en el ANEXO 7.

- instalación de Visual Studio.
- software para el control y manejo del robot.
- Seleccionar la cámara y el puerto de Arduino.
- Manejo del robot y la cámara con los botones establecidos en la interfaz gráfica.
- Obtención de imágenes, datos de distancia recorrida y porcentaje de la batería.

7.1. Resultados de la prueba de conexión

El criterio para establecer una regla se basa en las condiciones operativas a las que se va someter un trabajo, la tecnología exige que se establezcan criterios entre todos los prestadores de servicio, hablar con estándares permite contar con un ambiente multi-proveedor, esto beneficia económicamente a los usuarios y permite tener al alcance la mejor tecnología y no la más costosa.

La correcta utilización del cable UTP permitirá operar físicamente de la mejor manera en base a su identificación, certificación y diseño. La correcta administración de su operación recae en sus usuarios finales. En la tabla 8 se pueden ver algunas especificaciones de dos categorías diferentes que se usaron para el proyecto, teniendo claro que respecto a las pruebas realizadas para la elección del cable más adecuado, el más acertado fue el categoría 6, ya que cuenta con un poco más del doble de frecuencia que el categoría 5, el resultado se observar luego de hacer las pruebas en

la tubería de la empresa HYDROTECH. A continuación se muestra una tabla donde se especifica un poco más

Tabla 12 resultado de prueba para la conexión. Elaborada por el autor.

PRUEBA	UTP CATEGORÍA 5	UTP CATEGORÍA 6
Prueba en la tubería del interior de la empresa de HYDROTECH (10 METROS)	Interferencia en la imagen transmitida, con el FPS reducido a 20	Sin pérdida de conexión e imagen sin interferencia con los mismos 20 FPS
Prueba en la tubería del exterior de la empresa HYDROTECH (50 metros)	Aproximadamente a los 25 metros recorridos se perdió la imagen transmitida y el robot perdió la movilidad, usando los 30 FPS que tiene por defecto el programa.	El robot termino su recorrido exitosamente, aproximadamente a los 40 metros la imagen tuvo una corta interferencia en la imagen y los datos del porcentaje de la batería se perdieron, pero continuo con su recorrido y tanto los datos como la imagen se establecieron.

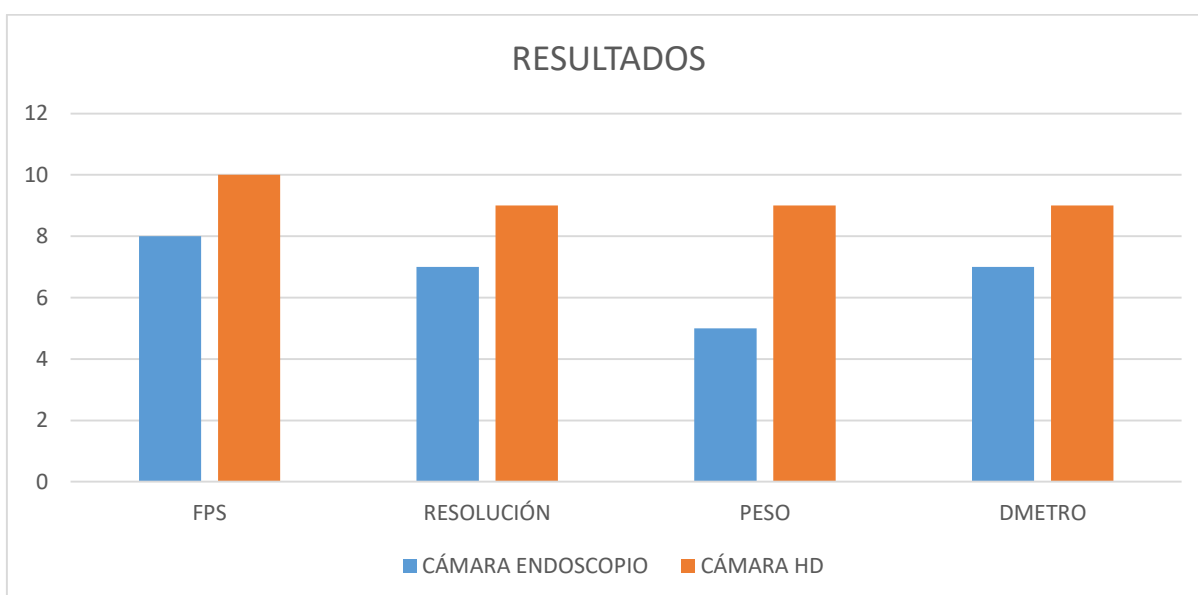
7.2. Resultados imagen transmitida por la cámara

Para la verificación experimental se realizaron diversas pruebas que incluyen el posicionamiento del robot y la cámara sobre un patrón (control de posición), el cambio de orientación usando al menos dos patrones (control de orientación) y el seguimiento de trayectorias completas, obteniendo resultados muy satisfactorios a pesar de los obstáculos presentados en las diferentes tuberías y los cambios de iluminación.

En las figuras 16 y 17 se ve claramente la imagen transmitida dentro de la tubería por dos cámaras distintas para las pruebas y para dejar plasmado en el análisis de resultados, se tiene en cuenta que la cámara endoscopio tiene 50 FPS y la cámara HD tiene 60 FPS (fotogramas por segundo), adquiriendo una imagen es un formato progresivo, mientras que técnicamente no es parte los estándares de la ATSC (Advanced Television Systems Committee) o de la DVB (Digital Video Broadcasting). Se realiza el análisis de las dos cámaras dentro de la misma tubería, teniendo en cuenta varios factores como: peso que interviene para el movimiento del robot, diámetro y la resolución con la que transmite la imagen.

Tabla 13 Factores que influyen en la prueba de imagen. Elaborada por el autor.

	Cámara endoscopio	Cámara HD
FPS	50	60
RESOLUCIÓN	640x480	1280 x 720
PESO	370 g	800 g
DIAMETROS	1,5 cm	2,5 cm



7.3. Requisitos para la interfaz del usuario

La actividad que el usuario realizara con la interfaz debe permitir la interacción hombre-máquina de manera sencilla e intuitiva. De esta manera el usuario puede acceder a todos los servicios y funcionalidades que ofrece pero de un modo más simple y con mejor rendimiento.

- **Administrador:** el administrador del sistema es el encargado de realizar el mantenimiento de los programas. Tiene todos los derechos posibles en su sistema, es decir, que puede consultar, crear, editar o eliminar programas.
- **Operador:** se trata de la persona que opera el sistema. Se encarga de iniciar el sistema, terminar la ejecución del mismo y por supuesto, del uso de todas sus capacidades y movimientos con los que el mismo cuenta.

- **Interfaz:** es el sistema que permite la interacción hombre-máquina. La interacción entre el usuario y la interfaz diseñada en c# generando una acción determinada según lo indique el usuario.
- **Robot:** el robot también es un actor ya que en los movimientos son ejecutados por él, tomando en cuenta los sensores de los que dispone, de él se obtiene información relativa.

Se deben tener en cuenta algunos requerimientos no funcionales o de sistema, ya que son aquellos que no provienen de la funcionalidad propia exigida a la nueva aplicación o sistema a desarrollar, sino que son requeridos por el entorno en el que se usara o ejecutara el sistema. Son aquellas exigencias del sistema que no tienen efectos funcionales, pero que ayudan a identificar necesidades o restricciones para dicho proyecto. Así como las posteriormente mencionadas:

- El sistema debe ser confiable tanto en hardware como en software.
- El sistema debe ser versátil, debe permitir la posibilidad de agregar varios tipos de sensores y adecuarse a la aplicación requerida.
- El sistema de control obedece a comportamientos reactivo, por lo cual la respuesta está sujeta a la velocidad de respuesta del procesamiento, la simplicidad de los algoritmos y a la confiabilidad y sencillez.
- Debe funcionar en diferentes tipos de ambientes, con gran variedad de sensores externos y actuadores.
- Debe permitir incorporar otros módulos y otras formas de sistemas de control.
- Los comportamientos no poseen memoria.

7.4. Resultados del estado de la batería

Teniendo en cuenta el desgaste que puede tener la batería usada para el proyecto, en este caso es una batería lipo, se hicieron pruebas para saber la duración de carga que puede soportar estando en diferentes condiciones como: se puede observar a continuación en el resultado de la tabla 14.

Tabla 14 resultados pruebas de la batería lipo. Elaborada por el autor.

CONDICIONES	BATERIA CARGADA EL 100%	BATERIA CARGADA AL 50%
10 METROS RECORRIDOS (USANDO EL SOFTWARE)	Al terminar el recorrido la batería solo consumió un 5% de su carga total	La batería finaliza el tramo con una carga de 3.44 V
50 METROS RECORRIDOS (USANDO EL SOFTWARE)	La batería tuvo un recorrido de 20 minutos y mantiene la carga en 5.2 V	La batería finaliza con una carga de 3.2 V, ya que el los motores tienen mayor trabajo al moverse y el robot pierde un poco la comunicación por la distancia recorrida.
MOTORES EN CONSTANTE MOVIMIENTO (SIN SOFTWARE Y SIN AVANZAR EL ROBOT)	La batería presenta un consumo mínimo, de menos del 10% a comparación de las pruebas anteriores.	La batería finaliza con una carga de 3.6 V

A continuación en las figuras 20,21 y 22 se muestran los resultados finales del robot y de la interfaz gráfica.

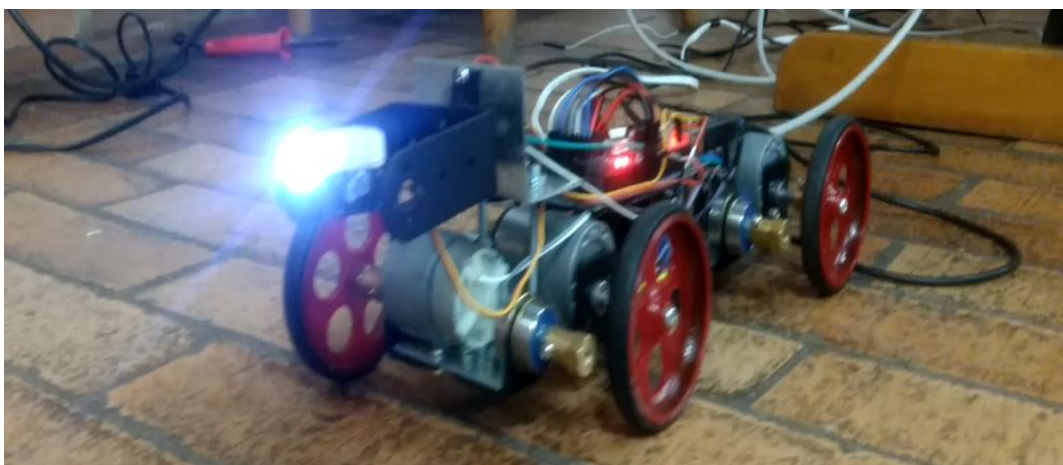


Figura 20. Resultado final robot para inspección de alcantarillados. Elaborada por el autor.

El resultado final de la interfaz se ve reflejado en la figura 21, se tuvieron en cuenta algunas mejoras para el aspecto a comparación de la interfaz inicial que se puede apreciar en la figura 8. Se integraron las funciones para la distancia recorrida y el voltaje de la batería, permitiendo al usuario tener una interfaz más completa y poder tener el control general del prototipo del robot para inspección de alcantarillados.

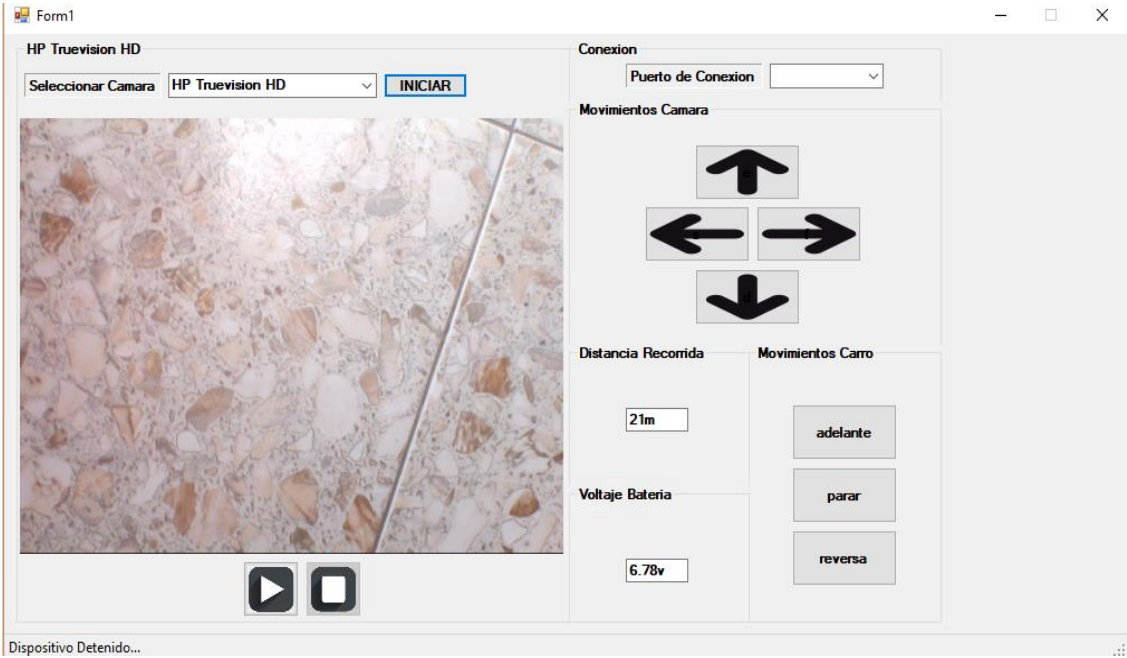


Figura 21. Resultado final interfaz gráfica. Elaborada por el autor.



Figura 22. Robot controlado mediante la interfaz gráfica. Elaborada por el autor.

8. CONCLUSIONES

Los prototipos funcionales de desarrollos tecnológicos similares a los presentados en ésta investigación, necesitan de una cuidadosa implementación general de pruebas, las cuales puedan arrojar datos e información específica relevante de interés, esto con el fin de poder hacer los ajustes inclinados al mejoramiento integral del sistema. Estas pruebas se desarrollaron en dos líneas mutuamente dependientes, la línea del hardware y la línea del software y la interacción funcional de éstas dos, que finalmente son los pilares fundamentales en la consecución de los objetivos.

La arquitectura del sistema debe tener en cuenta los parámetros que establece el entorno, es decir, lo ya desarrollado mediante todo el proceso del proyecto, además de todos los demás elementos que podían influir, adicionalmente aplicando metodología más apropiada y el ciclo de vida ideal para este tipo de desarrollo.

En el proceso de identificación de los requerimientos para el software es necesario que desde el inicio se tengan claras las funcionalidades que debe tener la aplicación, los escenarios y como debe responder a cada una de las necesidades.

El uso de tarjetas de desarrollo Arduino proporcionan una reducción en los costos de implementación para dicho proyecto, el uso de software libre evita el uso de licencias para la interacción de las placas Arduino con actuadores y con entornos de programación para el desarrollo de interfaces gráficas.

El diseño se realizó satisfactoriamente, cumpliendo con los objetivos estipulados. La electrónica y el software utilizado permiten que en su arquitectura el robot interactúe eficientemente con sus actuadores para que el sistema sea eficaz para la inspección de alcantarillados y el operario pueda manejar con facilidad la interfaz diseñada para la ejecución. Estos tipos de desarrollo deben estructurarse con bases tecnológicas flexibles con el fin de permitir futuras mejoras o actualizaciones tanto de software como de hardware.

Bibliografía

- [1] «EINFORMA,» [En línea]. Available: https://www.informacion-empresas.co/Empresa_HYDROTECH-INGENIERIA-SAS.html.
- [2] D. F. G. VIDAL, «LAS 2 ORILLAS,» 27 ABRIL 2017. [En línea]. Available: <https://www.las2orillas.co/riesgo-inminente-lluvias-fusagasuga/>.
- [3] «ALCALDÍA DE FUSAGASUGÁ,» [En línea]. Available: <http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Paginas/Aprobado-el-Plan-de-Desarrollo-Para-Fusagasuga-2016-2019.aspx>.
- [4] m. A. L. RIOS, «ALCANTARILLADOS Y AGUAS PARA BOGOTÁ,» 2015. [En línea]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16772/LoaizaRiosMyriamAstrid2015.pdf?sequence=1>.
- [5] J. F. R. MASIEL LORENA, «MODELACIÓN Y EVALUACIÓN HIDRAULICA DEL ALCANTARILLADO DE CHOCONTÁ MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE EPA SWMM,» 2014. [En línea]. Available: http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1686/1/Modelacion-evaluacion-hidraulica-alcantarillado-Choconta-con-software-EPA_SWMM.pdf.
- [6] O. G. L. TORRE, «DISEÑO DE UN ROBOT GUSANO MULTICUERPO,» ABRIL 2014. [En línea]. Available: http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/324665/2/latorre_so-pub-tesis.pdf.
- [7] J. F. INGLÉS, «ENTORNO DE MODELADO PARA EL SOFTWARE DE UN ROBOT HUMANOIDE,» 27 SEPTIEMBRE 2010. [En línea]. Available: <http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/1802/pfm127.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [8] G. O. ZAPATA, «EL COLOMBIANO,» [En línea]. Available: http://www.elcolombiano.com/historico/dos_robots_revisaran_el_alcantarillado_de_medellin-IGEC_306680.
- [9] «MICROSOFT,» 20 JULIO 2015. [En línea]. Available: <https://docs.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/getting-started/introduction-to-the-csharp-language-and-the-net-framework>.

- [10] «ARDUINO,» [En línea]. Available: [https://www.arduino.cc/..](https://www.arduino.cc/)
- [11] «CAMARAS ESPIAS,» [En línea]. Available: <https://www.camaras-espías.com/400-usb-10-metros-de-camara-endoscopica-con-4-leds-sumergible.html..>
- [12] «VISTRONICA,» [En línea]. Available: https://www.vistronica.com/buscar?controller=search&orderby=position&orderway=desc&search_query=motorreductor&submit_search=&p=2..
- [13] «VISTRONICA,» [En línea]. Available: https://www.vistronica.com/buscar?controller=search&orderby=position&orderway=desc&search_query=motorreductor&submit_search=&p=2..
- [14] B. A. H. Z. ANDRÉS FELIPE ARDILA RODRÍGUEZ, «PLATAFORMA DE TELEASISTENCIA DOMICILIARIA PARA EL PROGRAMA DE SOPORTE SOCIAL CASSA UDEC, DIRIGIDO A LOS PACIENTES ENFERMOS CRÓNICOS Y CUIDADORES INFORMALES DE LA CIUDAD DE GIRARDOT,» 2014. [En línea]. Available: <file:///I:/Informe%20Final.pdf>.
- [15] J. M. ALARCON, «CAMPUS MVP,» 5 MARZO 2015. [En línea]. Available: <https://www.campusmvp.es/recursos/post/CSharp-o-VBNET-que-lenguaje-debo-aprender.aspx>.
- [16] «BIOINFORMATICOS,» [En línea]. Available: [http://www.bioinformaticos.com.ar/una-comparacion-de-lenguajes-de-programacion-usados-en-bioinformatica/..](http://www.bioinformaticos.com.ar/una-comparacion-de-lenguajes-de-programacion-usados-en-bioinformatica/)
- [17] «SUBETECNOLOGIA,» [En línea]. Available: <http://sabetecnologia.blogspot.com.co/2013/03/tabla-comparativa-de-arduinos.html>.
- [18] «BLACK BOX,» [En línea]. Available: <https://www.blackbox.com.mx/mx-mx/page/23769/Recursos/News-Events/News/cmarras-analgicas-vs-cmarras-ip-una-comparativa-en-12puntos>.
- [19] «HIDROTEC,» [En línea]. Available: <https://www.hidrotec.com/servicios/inspeccion-tuberias-camara-tv/>.
- [20] «BDIGITAL,» [En línea]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2650/1/280194.2010.pdf..>

- [21] «OPEN UP,» 26 DICIEMBRE 2013. [En línea]. Available:
<https://www.openup.es/informacion-de-cables-cat5-cat5e-cat6-cat7-y-cat7a/>.
- [22] A. G. GONZÁLES, «PANAMAHITEK,» 26 AGOSTO 2013. [En línea]. Available:
[http://panamahitek.com/el-puente-h-invirtiendo-el-sentido-de-giro-de-un-motor-con-arduino/..](http://panamahitek.com/el-puente-h-invirtiendo-el-sentido-de-giro-de-un-motor-con-arduino/)