

P MITO - IMPLEMENTACION DE UNA PLATAFORMA MOVIL UTILIZANDO ARDUINO

JENNIFER MARIN CORDOBES

DIEGO ALEJANDRO MARULANDA MARTINEZ

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS-INGENIERÍA ELÉCTRICA
PEREIRA-RISARALDA**

2019

**P MITO - IMPLEMENTACION DE UNA PLATAFORMA MOVIL UTILIZANDO
ARDUINO**

JENNIFER MARIN CORDOBES

DIEGO ALEJANDRO MARULANDA MARTINEZ

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero electricista

DIRECTOR

INGENIERO LUIS HERNANDO RIOS

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS- INGENIERÍA ELÉCTRICA
PEREIRA-RISARALDA**

2019

AGRADECIEMIENTOS

Primero quiero mencionar a Dios a él gracias por permitirme culminar mis estudios, por la vida que me regala cada día y por darme una familia que me apoya en todas mis locuras y emprendimientos.

Porque cuando he caído y me he sentido derrotada tanto Dios como mi familia me han ayudado a superar cada prueba que me ha puesto la vida, aprender de mis errores y a mejorar como ser humano, hija, madre y compañera.

Cada momento vivido dentro de la universidad los llevare guardados en mi mente y corazón, ya que aquí conocí grandes personas y viví experiencias que solo pasan una vez en la vida.

Cada momento vivido durante todos estos años son únicos, cada día fue y será una oportunidad para:

Corregir errores, empezar de nuevo; sin importar la cantidad de faltas cometidas durante días anteriores.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora y tal vez también se ha extendido bastante, pero gracias a cada persona que ha contribuido desde algo pequeño hasta el más grande aporte, a su amor y bondad brindados hacia mí y mi familia.

Lograr esta meta ha sido complicada por muchas circunstancias pero gracias al sacrificio de mi madre Luz Colombia termine mis estudios del colegio, entre a la universidad y hoy por hoy soy lo que soy gracias a ella, siendo una persona de buenos sentimientos, hábitos, valores y principios, lo que también ha primado para salir adelante en momentos difíciles del camino. Ella es principalmente la mejor mujer del mundo, la considero una guerrera, luchadora, una mujer que no se deja vencer la mejor amiga que Dios me dio y para ella mi mayor reverencia, por sus sacrificios y no sacrificios por que toco, por sus sacrificios de amor que hasta hoy aun los sigue haciendo.

Ella que como no había plata para los pasajes de ambas decidía irse conmigo caminando y darme ánimo para no desfallecer, caminábamos juntas hasta la mitad de mi camino ahí nos dividíamos ella para su trabajo y yo para la universidad, y para regresar a casa nos

encontrábamos para llegar juntas, ella me empacaba el almuerzo para no pasar hambre en el estudio, ella la que nunca se rindió que se hizo a préstamo para conseguir una casa propia de donde nadie pudiera sacarme el día que pudiera faltar y que me brindó un medio de transporte para que ambas lo utilizáramos y así llegar al trabajo y estudio respectivamente para ella toda mi gratitud, porque cuando quiero emprender algo siempre me dice SI intentemos a ver que pasa, simplemente no me queda más que decir mil y mil gracias por ser mi empuje; y ahora después de tanto tiempo desde que nací hoy soy una mujer con dos hijos a los que adora y daría cualquier cosa por ellos sigue siendo incondicional conmigo y con ellos, sus nuevos amores, no tengo como pagar todo lo que esta mujer mi madre ha hecho, hace y podría hacer por mí, por nosotros de nuevo a ella GRACIAS.

A mis hijos Johan y Johanna porque aunque ellos no entienden de sacrificios de amor, ellos me han dado fuerzas para luchar, para mejorar y para querer darles un mejor futuro.

A mi esposo Jorge porque a pesar de los inconvenientes ha estado ahí para acompañarme, para corregirme y para decirme "Hay que terminar", "Vamos que tu puedes", "Solo un esfuerzo más", gracias por su apoyo, sus palabras de aliento para poder continuar y culminar este proyecto que empecé ya un tiempo atrás.

A mi hermana Estephany que cuando puede está diciéndome jenny termine que usted puede.

A mi padre que a pesar de que de su parte no hubo un gran sacrificio para mi vida, gracias a él soy una persona más firme y fuerte, pero también hay que decir que hizo un algún aporte en este proyecto, tal vez no el que siempre espere, pero hay que mencionar que en ocasiones el podía sacarme de apuros.

También quiero mencionar a mis profesores los que me ayudaron cuando fui una mama estudiante, por su apoyo y su comprensión para asistir a sus clases con mi bebe mil gracias.

Jennifer Marín Cordobés.

Primero que todo quiero agradecer a mis padres por confiar siempre en mí, por apoyarme en los momentos más difíciles, por su paciencia y seguir alentando a terminar mi carrera profesional, me criaron con valores y rectitud para que fuera un hombre de bien y útil para la sociedad. Quiero agradecer a mis hermanos por quererme y no reprocharme nada, agradecer a Dios por mi familia por estar siempre juntos, a mi tía soledad y mi tío Rubén Darío por ayudarme económicamente con pasajes y almuerzos, a mi suegra por sus consejos y ayuda económica por último a mi novia por ser mi motor y mi aliento por estar conmigo en las buenas y en las malas gracias por ese amor incondicional que me brinda, su apoyo al final de mi pregrado fue fundamental.

Diego Alejandro Marulanda Martínez

Finalmente, queremos agradecer al Ingeniero Luis Hernando Ríos por dirigir este proyecto y al Dr. Juan David Vasquez Jaramillo por toda su disposición y ayuda incondicional brindada durante el tiempo de realización de este proyecto. Sin la asesoría y comprensión brindado por ellos no se hubiera podido llevar a cabo.

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño:

A Dios por permitirme llegar hasta acá y que aspiro que me regale muchos días más de vida para poder ejercer y disfrutar mi familia.

A mi madre, mis hijos, mi esposo que son el pilar fundamental en mi vida, ellos me han dado todo para ser quien soy, de una manera desinteresada y con todo su inmenso amor.

A mi padre que aunque ya ha partido de este mundo, quería verme graduada, siendo una profesional y aunque no teníamos la mejor relación, quería que mi futuro fuera diferente uno que mejorara mi vida.

A todas y cada una de las personas que de una u otra forma manera hicieron aportes económicos para terminar este proyecto y ser una futura Ingeniera Eléctrica.

Jennifer Marín Cordobés.

Dedico este proyecto a mis padres sin ellos no hubiera sido posible culminar mi carrera, a mis hermanos, a mi novia Luz Myriam Trujillo García, por ayudarme y respetarme, por su apoyo incondicional al final de mi carrera, por comprenderme y por ese empuje que me dio para terminar este proyecto.

Diego Alejandro Marulanda Martínez

Contenido

1. INTRODUCCION	9
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.2. JUSTIFICACION	11
1.3. OBJETIVOS	12
1.3.1. Objetivo general	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
1.4. ESTADO DEL ARTE	13
1.4.1. Arquitectura de robots	13
1.5. Principales resultados.	14
1.6. Estructura del trabajo de grado.....	14
2. IMPACTO ESPERADO	16
2.1. Generación de nuevo conocimiento	16
2.2. Fortalecimiento de la capacidad científica nacional	16
2.3. Apropiación social del conocimiento	16
3. MARCO DE REFERENCIA	17
3.1. SENSORES	17
3.2. ENCODERS.....	18
3.2.1. Encoders incrementales.....	19
3.2.2. Clasificación de encoders incrementales.....	20
3.3. Brújula.....	21
3.3.1. Funcionamiento de la brújula digital.....	22
3.4. Tipo de plataformas móviles	23
3.4.1. Configuración diferencial.....	23
3.4.2. Configuración en triciclo.....	25
3.4.3. Configuración Ackermann.....	26

3.4.4.	Vehículos con diferentes grados de movilidad	27
3.4.5.	Modelo control guiado diferencial.....	27
3.5.	Velocidad lineal.....	28
3.6.	Odometría.....	29
3.7.	Efecto hall.....	29
4.	MATERIALES Y METODOS	31
4.1.	Controlador Arduino	31
4.2.	Batería	31
4.3.	ENCODER	32
4.4.	Sensores de distancia.....	33
4.5.	Sensores infrarrojos	33
4.6.	Motor DC	34
4.7.	Modulo control de motores (puente h)	35
5.	RESULTADOS	36
5.1.	Prueba lineal recorrida	36
5.2.	Prueba de giro recto	38
5.3.	Prueba de evasión y navegación de obstáculos haciendo uso de sensores ultrasónicos.....	40
5.4.	Resultados generación de la trayectoria.....	41
6.	CONCLUSIONES	44
7.	BIBLIOGRAFIA	45
8.	ANEXOS.....	47

1. INTRODUCCION

Una plataforma móvil es un dispositivo formado por un conjunto de sensores y por unos dispositivos de movilidad que dinamizan la cinemática de un objeto que típicamente es una superficie cuadrilátera.

La característica típica de una plataforma móvil es su autonomía en ambientes no estructurados o inexplorados, la cual le permite navegar en una geografía determinada a través de la toma de decisiones que permitan evadir obstáculos estáticos y reaccionar a eventos dinámicos ambos relacionados con una tarea en ejecución que se determina mediante la asignación de unos objetivos que se requiere que la plataforma cumpla como por ejemplo seguir una línea evitando obstáculos.

En la toma de decisiones que permiten que la plataforma móvil ejecute su tarea se requiere un sistema de control con módulos instrumentados que permitan establecer un conjunto de posibles soluciones y posteriormente seleccionar una estrategia que permita la localización de la plataforma su globalización, navegación y evasión de obstáculos.

En este trabajo desarrollamos desde el punto de vista experimental una navegación basada en sensores ultrasónicos observando el estado del ambiente, encoders en las ruedas para monitorear las partes de la estructura de la plataforma y de esta forma proporcionar control para el movimiento de una plataforma móvil a través de definir el tipo de sensorica y su interacción con un sistema de comando que en este caso es la plataforma Arduino.

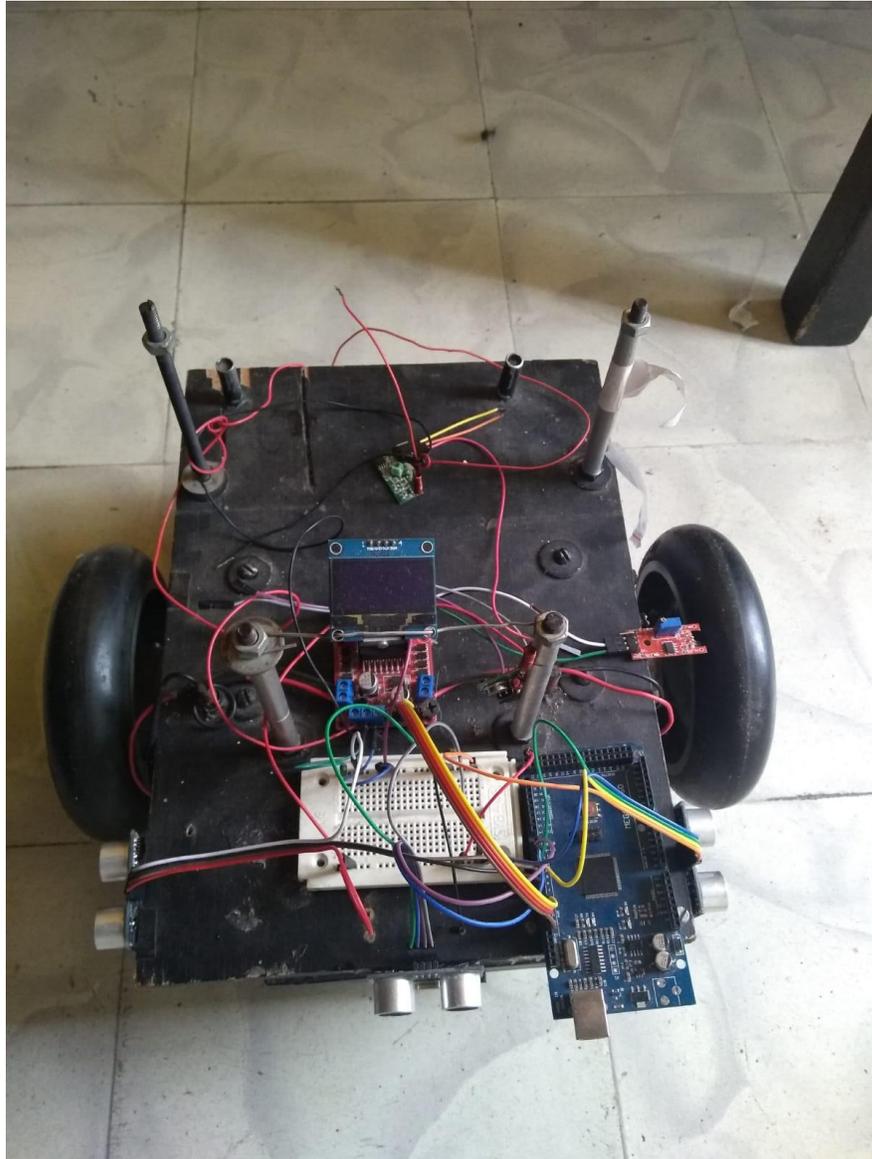


Figura 1. Plataforma móvil para el accionamiento de técnicas de odometría.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El evadir obstáculos y navegar por entornos dinámicos es uno de los objetivos de los robots móviles autónomos; en los actuales momentos hacer que los robots móviles se desplacen por entornos dinámicos con un alto grado de precisión es un problema que aún no está resuelto en su totalidad.

Una de las cualidades de los robots móviles autónomos es la precisión con que estos perciben el entorno por donde se desplazan; de dicha precisión se puede garantizar una óptima interacción del robot móvil con su entorno de trabajo.

En la bibliografía se referencia robots móviles autónomos en entornos de trabajo transportando materiales y herramientas e interactuando con las personas para cumplir tareas específicas. Para la realización de dichas tareas se requiere la implementación de sofisticados sistemas tanto de control como de instrumentación.

Con este proyecto de grado se pretende establecer la conexión entre la plataforma p-mito y el usuario, implementando técnicas de odometría para definir la posición correcta de la plataforma en su entorno de trabajo ayudados de lenguaje de programación de Arduino .

1.2. JUSTIFICACION

El uso de robots móviles está justificado en aplicaciones en las que se realizan tareas de riesgo para el ser humano. El transporte de material peligroso, las excavaciones mineras, la limpieza industrial o la inspección de plantas nucleares son ejemplos donde un robot móvil puede desarrollar su labor y evita exponer, la salud del trabajador.

También existen robots encargados de explorar en nuestro planeta, al interior de volcanes, en las profundidades del océano o cualquier otro lugar inaccesible por el hombre.[2]

Las características de las plataformas móviles, (cualquier dispositivo móvil que puede desplazarse por un entorno o región) empleadas para investigación en el área de la robótica, son la versatilidad y adaptabilidad. La versatilidad se entiende como la capacidad de lograr y ejecutar diferentes tareas, o ejecutar la misma tarea de distintas maneras.

La adaptabilidad significa que después de implementada la parte sensorial y todo lo relacionado con la plataforma, esta deberá adaptarse y enfrentarse por sí sola ante un entorno [2]. Una plataforma de navegación debe estar en capacidad de responder ante ambientes estáticos y dinámicos, los ambientes estáticos son aquellos entornos donde los

obstáculos permanecen fijos y los ambientes dinámicos son aquellos entornos donde los obstáculos pueden estar en movimiento.[3]

No basta con tener un excelente proceso de censado, es necesario, además, contar con un sistema inteligente que sepa como manipular la información obtenida de los sensores, y que tome una decisión según su función, como por ejemplo recorrer una trayectoria mínima hasta llegar a un punto deseado o evitar los obstáculos existentes en el medio.[3]

Una percepción correcta hecha por el robot de su entorno puede significar un buen desempeño en sus funciones para lo cual es totalmente indispensable el uso de sistemas de altas prestaciones como los computadores, micro- controladores o microprocesadores. Se puede decir que estos elementos son el cerebro de la plataforma.[3]

A esto se le suma que los datos que obtiene cada plataforma móvil y los datos de navegación, de alguna manera tienen que ser vistos y/o enviados por el ente de control, para su posterior análisis. Para esto se utilizan diferentes tipos de comunicación como la AM(modulación en amplitud) o la FM(modulación en frecuencia), las cuales permiten una buena comunicación entre diferentes puntos cuando la plataforma móvil se encuentra en operación.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Implementar la comunicación entre usuario y plataforma (P- MITO) para el envío y recepción de datos mediante el dispositivo Arduino.

1.3.2. Objetivos específicos

- Revisar el estado del arte.
- Elegir protocolo de comunicación
- Diseñar la comunicación usuario y plataforma p-mito.
- Diseñar la lógica de control de la locomoción de la plataforma móvil y del bloque de percepción utilizando el hardware libre ARDUINO.
- Implementar algoritmos de navegación y localización.

1.4. ESTADO DEL ARTE

1.4.1. Arquitectura de robots

En la actualidad existen procesos de alta complejidad como la exploración marina y minera a cielo abierto y cerrado que requieren del uso de plataformas móviles y robóticas, por el riesgo y la peligrosidad que enfrenta el ser humano, donde prima el objetivo de minimizar el riesgo al que el ser humano se ve sometido.

De manera específica para ambientes industriales, la robótica móvil se desarrolló en ambientes determinísticos y controlados, en donde la sensorica e instrumentación son de una naturaleza mucho más simple que en situaciones con alto grado de incertidumbre, pues aquí las plataformas robóticas móviles solo requerían estos sensores para la realización de tareas bien planificadas, y sin necesidad de procesos de toma de decisiones. [6]

En el área de los robots y los sistemas sensoriales, existen diferentes tipos y clases de sistemas que se pueden clasificar según su desempeño, habilidad para la toma de decisiones, morfología ya sea humanoide, animaloide o en forma de planta. Es de gran interés los robots móviles de tipo diferencial esencialmente en el área industrial o de manufactura o de producción masiva de materia prima ya que, para el transporte de piezas, objetos, tornillos, metal, entre otros dan un gran parte de movilidad.

En la última década, la investigación en robótica móvil ha definido como objetivo primordial la construcción de sistemas, subsistemas o de plataformas que basándose en información sensorial proveniente de diferentes entornos de instrumentación como los basados en sensores infrarrojos, ultrasónicos, odometricos o de visión artificial, pueda poner en marcha un proceso de toma de decisiones para generar trayectorias inteligentes en entornos aleatorios y realizar y ejecutar un conjunto de tareas de manera autónoma y automática.

En la actualidad, la robótica móvil combina esfuerzos de diferentes áreas del conocimiento y en diferentes escenarios como por ejemplo el de los ingenieros electrónicos, ingenieros mecánicos, ingenieros telemáticos, arquitectura de computadores y ingenieros de datos.

Ahora bien, el uso de la electrónica digital va de la mano con la robótica, el hardware libre Arduino “está revolucionando la manera en que los diseñadores de sistemas implementan lógica digital. Se reduce drásticamente los costos y el tiempo de desarrollo para implementar miles de compuerta lógicas”. [7]

Para la comunicación de robot o plataformas móviles, se utilizan diferentes tipos de comunicación entre usuario y máquina. Una de gran utilidad es el dispositivo plataformas infrarrojas que se usa para comunicaciones en transmisión de datos. [8]

1.5. Principales resultados.

Los principales resultados de este proyecto de grado son:

- Un algoritmo de transmisión de datos de manera inalámbrica entre la plataforma móvil P-MITO y el computador.
- La correcta visualización de la transmisión de datos entre la plataforma y el computador.
- Almacenamiento de los datos generados por la plataforma durante la ejecución de una trayectoria.

1.6. Estructura del trabajo de grado.

Con el fin de responder al carácter indagatorio del proyecto, colmar los objetivos y comprobar la veracidad del planteamiento del mismo, se tiene en cuenta una metodología teórico - experimental implementada en cada uno de las etapas del proyecto, además de la utilización de la simulación y experimentación para detectar y resolver problemas técnicos que puedan dificultar el logro de los objetivos. El proyecto de investigación se llevará a cabo en fases que delimitan y especifican cada una de las actividades a desarrollar.

- Fase I: “Estudio de la técnica a implementar”. En esta etapa se efectuó una recopilación de información. Para dicho proceso se analizo material académico, libros y artículos especializados para lograr obtener un correcto funcionamiento de la plataforma móvil.
- Fase II: “Implementación de técnicas”. En esta etapa se delinearon y accionaron técnicas necesarias para cumplir los objetivos propuestos. Al tener claro los conceptos teóricos de la fase I. Se resolvió el problema y se generaron distintas combinaciones de las técnicas propuestas.

- Fase III: “Implementación de la comunicación inalámbrica”. En esta fase se diseñó e implementó un método para lograr la comunicación entre la plataforma móvil P-mito y un computador. Este método de comunicación se adaptó a los objetivos del proyecto.
- Fase IV: “Corrección del algoritmo de censado de obstáculos” En esta fase se ajustó el algoritmo utilizado para el censado y detección de obstáculos en un ambiente aleatorio.
- Fase V: “Pruebas en la plataforma móvil”. En esta etapa se usó la plataforma móvil en ambientes aleatorios para verificar todas las fases del proyecto, tales como el control, la comunicación y trayectorias de desplazamiento; se utilizó una interfaz gráfica entre en Software Matlab y el software Arduino para tomar datos del entorno y definir la posición y orientación de la plataforma móvil, además, se realizaron pruebas para verificar el error del robot con respecto a una trayectoria dada.
- Fase VI: “Presentación de resultados”. En esta última etapa del proyecto se presentará un documento final a la comunidad en general con todos los datos, conclusiones y resultados obtenidos. Esto con el fin de brindar nuevos conocimientos y dejar abiertas las posibilidades de un perfeccionamiento o continuación del proyecto

2. IMPACTO ESPERADO

2.1. Generación de nuevo conocimiento

Mediante el desarrollo del presente proyecto se espera generar una serie de rutinas en la plataforma Arduino que permitan controlar plataformas móviles que exploren terrenos con un determinado grado de aleatoriedad y que ejecuten tareas de manera autónoma.

2.2. Fortalecimiento de la capacidad científica nacional

El presente proyecto servirá como apoyo para tesis de maestría o doctorado en las que se utilicen la herramienta Arduino como plataforma de control de la robótica móvil

2.3. Apropiación social del conocimiento

Mediante la redacción del presente documento se espera que las siguientes generaciones de ingenieros de diversas disciplinas exploren la robótica móvil y que contribuyan al mejoramiento de los mecanismos de percepción para la ejecución de tareas de forma autónoma en la robótica móvil y en los sistemas de sensores.

3.2. ENCODERS

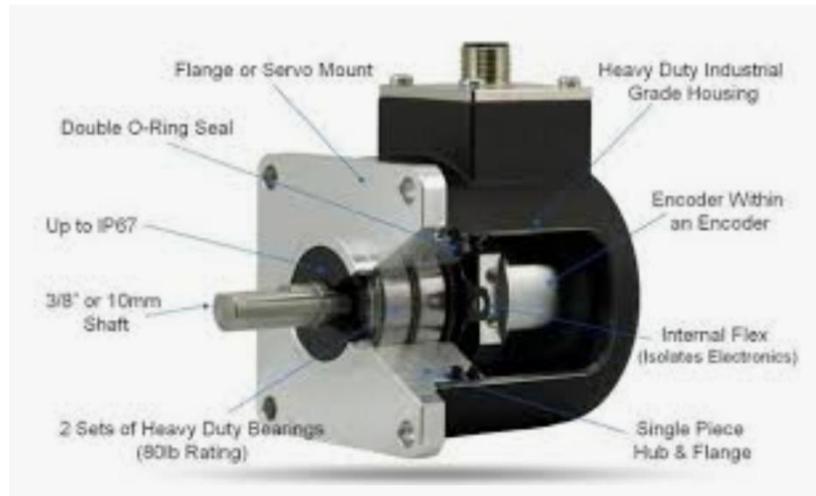


Figura 3. Encoder y sus partes.

Es un transductor rotativo que modifica un movimiento angular en una sucesión de impulsos digitales. Estos impulsos producidos son aprovechados para controlar los movimientos de tipo angular y lineal.

Las señales eléctricas de rotación pueden ser confeccionadas por medio de controles numéricos, PLC, sistemas de control, etc. Estos se aplican principalmente en los transductores de las máquinas de elaboración de materiales, en motores, en artefactos de medición y en robótica.

El conjunto de lectura se basa en la rotación de un disco regulado por líneas opacas, salteadas con espacios transparentes. El disco proyecta su imagen sobre la superficie de algunos receptores convenientemente enmascarados por otro reticulado que tiene el mismo paso del anterior (colimador).

Los receptores tienen la actividad de encontrar los cambios de luz que se producen con el movimiento del disco cambiándolos en variaciones eléctricas.

La señal eléctrica encontrada, para producir impulsos adecuadamente encajados y sin interferencias, debe ser encausada electrónicamente. Para ampliar la calidad y estabilidad de las señales, el sistema de lectura se realiza naturalmente de manera diferencial, confrontando dos señales casi iguales, pero desfasadas en 180° eléctricos. Su lectura se efectúa con base a la diferencia de las dos señales,

eliminando de este modo las interferencias definidas "de modo común " porque están superpuestas de igual manera en toda forma de onda. [10]

3.2.1. Encoders incrementales.

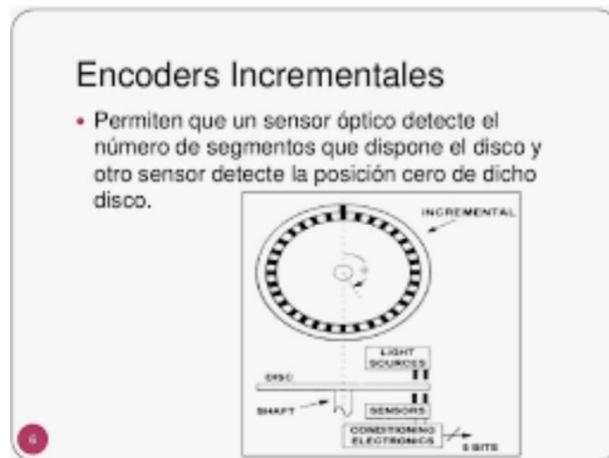


Figura 4. Encoder incremental.

El encoder incremental genera normalmente dos formas de ondas cuadradas y desfasadas entre sí en 90° , las cuales usualmente son "canal A" y "canal B". Con la lectura de un solo canal se dispone de la información correspondiente a la velocidad de rotación, mientras que si se capta también la señal "B" es posible diferenciar el sentido de rotación con base a la secuencia de datos que generan ambas señales. Está apta además otra señal llamada canal Z o Cero, que proporciona la posición absoluta de cero del eje del encoder. Esta señal se presenta bajo la forma de impulso cuadrado con fase y amplitud centrada en el canal A.

La precisión de este encoder depende de circunstancias mecánicas y eléctricas entre los cuales se halla, el error de división de retículas, excentricidad del disco, la de rodamientos, error electrónico, la inexactitud de tipo óptico.

La unidad de medida de un encoder incremental es el grado eléctrico, este determina el fraccionamiento de un impulso generado por el encoder: en consecuencia, los 360° eléctricos pertenecen a la rotación mecánica del eje, necesaria para la

realización de un ciclo completo de la señal de salida. Para conocer cuántos grados mecánicos corresponden 360 grados eléctricos se aplica la siguiente fórmula.

$$360^\circ \text{ electricos} = 360^\circ \frac{\text{mecanicos}}{\# \text{ impulsos/giro}}$$

3.2.2. Clasificación de encoders incrementales.

- Los encoders se clasifican **unidireccional y bidireccional**.

La diferencia de los dos encoders es que el bidireccional como su denominación lo indica, toma la medición en ambos sentidos e indica el sentido de giro del encoder.

- **Absolutos.**

El funcionamiento del encoder absoluto es muy parecido al de un encoder incremental, con zonas invisibles y opacas suspende un haz de luz que percibe por foto receptores, después estos cambian los impulsos luminosos en eléctricos, estos son tratados y llevados por la electrónica de salida.

Los encoders absolutos tienen varias diferencias con los encoders incrementales desde su funcionamiento, mientras los incrementales la ubicación está determinada por el conteo de número de impulsos con respecto a cero, en los encoders absolutos la ubicación está determinada por la lectura del código de salida, este código es único para cada posición dentro de la vuelta. Estos encoders absolutos no pierden la posición real cuando se interrumpe la alimentación, hasta un nuevo encendido, la ubicación está actualizada y disponible si tener que realizar la búsqueda del punto cero.

3.3. Brújula



Figura 5. Brújula estándar.

La brújula es un objeto que posibilita determinar la ubicación con respecto a la superficie terrestre, por medio de una aguja que muestra el norte magnético; por lo general consiste en una cavidad con cubierta transparente, en su interior contiene una aguja imantada, puesta sobre un eje que señala el norte magnético.

Un poco de historia de la brújula, se cree que su surgimiento data del año 2500 aC.

La brújula fue desarrollada por la cultura china, estaba compuesta por un trocito de caña en la cual se introducía una aguja magnetizada la cual se hacía flotar en el agua, con esta sencilla operación se podía encontrar el norte magnético.

En Europa en el siglo XII ya existía una brújula rudimentaria, los árabes conocieron esta idea y se la llevaron hacia oriente.

Los únicos lugares en donde la brújula tradicional no es muy útil son aquellos cerca de los polos, en donde las líneas de fuerza del campo magnético terrestre convergen; para solucionar este problema se comenzó a experimentar con diversos tipos de instalaciones, manteniendo básicamente el mismo principio. [11]

3.3.1. Funcionamiento de la brújula digital.



Figura 6. Brújula digital.

La brújula digital posee dos posiciones X e Y. Cada coordenada comunica la fuerza de la componente de campo magnético paralela a la brújula. La coordenada X reporta $(X \cdot \cos(\theta))$, y la coordenada Y reporta $(X \cdot \sin(\theta))$. Para hallar θ (que es el ángulo de inclinación con la parte frontal del aparato y el Norte en sentido horario) se usa la $\text{ATAN}(-Y/X)$ con lo cual se obtiene fácilmente el punto cardinal hacia el cual se dirige, a través de una escala de 0 a 360 donde el cero representa al Norte Geográfico.

La brújula como se mencionó anteriormente sirve de orientación; la orientación para la aplicación del proyecto es fundamental puesto que la plataforma móvil (Robot móvil) tiene como función desplazarse en ambientes controlados, pero cada registro de movimiento debe ser verificado por el dato que entrega la brújula digital para establecer un control de movimiento y rumbo, es decir, la plataforma en una ubicación localizada entrega un ángulo proveniente de la brújula, el controlador con la información de los demás sensores indica un nuevo movimiento; si la plataforma se ha movilizado en línea recta la brújula deberá entregar un ángulo cercano o igual al tomado con anterioridad. [11]

3.4. Tipo de plataformas móviles

El primer paso que se da en la construcción de un robot es la decisión de su configuración, esto es, establecer como estarán repartidos los principales elementos que lo componen: ruedas, plataforma, motores. La precisión de las mediciones que haga el robot, dependerá en gran medida de la configuración que se le dé.

La elección del Tipo de Robot móvil es sin duda la parte más fundamental a la hora de diseñar una plataforma, dependiendo de las necesidades, se buscarán unas u otras características, las cuales dependen de diferentes condiciones como superficie, velocidad, maniobrabilidad, equilibrio, etc. En relación a las ruedas, existen distintas configuraciones, típicamente utilizadas en robótica móvil: diferencial, triciclo, Ackerman, sincronizada, omnidireccional, con múltiples grados de libertad y movimiento mediante orugas.

3.4.1. Configuración diferencial.

La configuración diferencial se presenta como la más sencilla de todas. Consta de dos ruedas situadas diametralmente opuestas en un eje perpendicular a la dirección del robot. Cada una de ellas irá dotada de un motor, de forma que los giros se realizan dándoles diferentes velocidades. Así, si se quiere girar a la derecha, se debe dar mayor velocidad al motor izquierdo.

Para girar a la izquierda, será el motor derecho el que posea mayor velocidad. Con dos ruedas es imposible mantener la horizontalidad del robot. Se producen cabeceos al cambiar la dirección. Para solventar este problema, se colocan ruedas “locas”. Estas ruedas no llevan asociadas ningún motor, giran libremente según la velocidad del robot. Además, pueden orientarse según la dirección del movimiento, de forma análoga a como lo hacen las ruedas traseras de los carritos del supermercado. Dependiendo de las necesidades, se pueden colocar una, dos o más ruedas “locas”.

Sin embargo, la presencia de más de tres apoyos en el robot (incluidas las dos ruedas de tracción), puede llevar a graves cálculos de odometría en terrenos irregulares, e incluso a pérdida de tracción total. En la figura 14 se aprecia cómo la rueda de tracción pierde agarre, haciendo imposible el avance del robot:

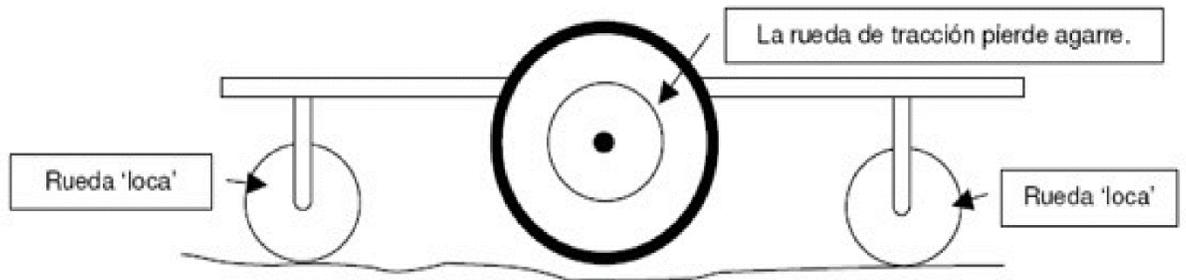


Figura 7. Más de una rueda “loca” provoca falta de tracción.

Se puede resumir la configuración como: dos ruedas con tracción independiente, y una o más ruedas locas.

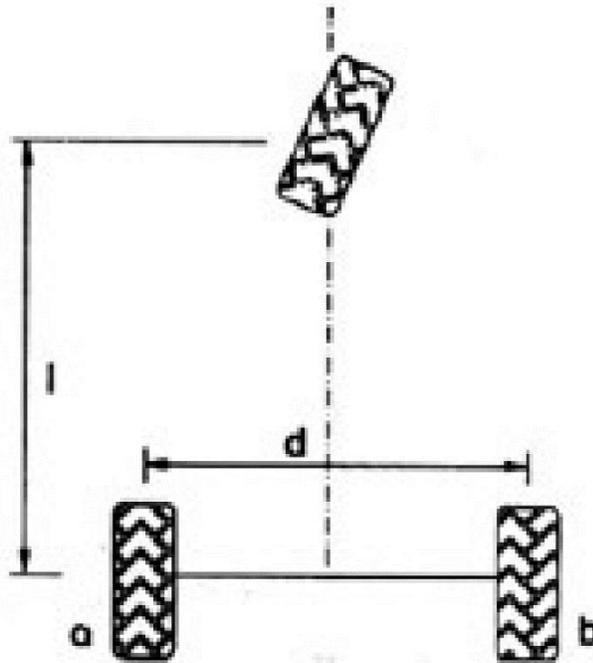


Figura 8. Colocación de las ruedas en configuración con una rueda loca al frente.

Para realizar una navegación por odometría, es necesario ajustar a los motores de las ruedas laterales encoders, de forma que calculando los pulsos con que progresa cada rueda

y teniendo en cuenta el radio de esta y la reducción del motor, no hay más que aplicar las ecuaciones cinemáticas del robot para hallar la posición exacta en la que se encuentra y el ángulo de desviación respecto a una dirección de referencia.

3.4.2. Configuración en triciclo.

En este caso, se dispone de tres ruedas en el robot, situadas de forma similar a los triciclos de los niños, de ahí su nombre. Se tienen, por tanto, dos ruedas traseras, que no llevan acopladas ningún motor. La tracción estará en la rueda delantera, que además, será la que se usará para dirigir al robot. (Ver figura 16). En este caso, el cálculo de la odometría es mucho más sencillo. La posición del robot vendrá dada por el número de pulsos que avanza el encoder de la rueda motora, y la dirección es simplemente la que lleve dicha rueda.

Un problema asociado a esta configuración es que el centro de gravedad tiende a alejarse de la rueda de tracción terrenos en inclinados cuando el robot lleva la dirección de subida. Esto se traduce en una pérdida de la tracción del robot. Al perderse el contacto con el suelo la rueda motora sigue girando, pero el robot no avanza. Esto supone un error grande al hacer el cálculo de la odometría, ya que el robot indica que está en un punto más avanzado, cuando en realidad se encuentra más atrás.

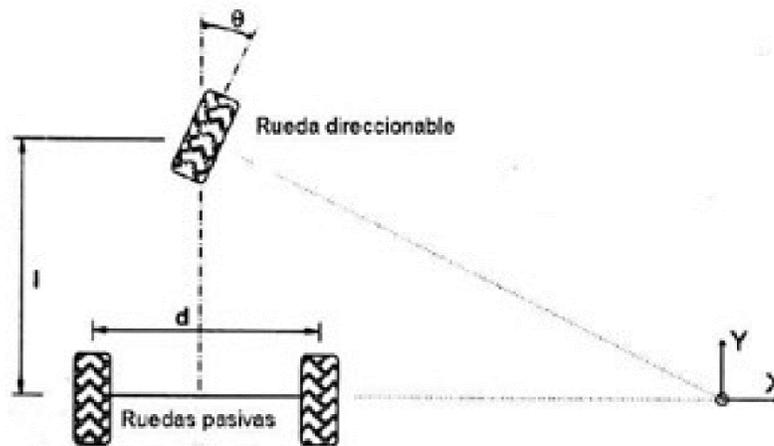


Figura 9. Configuración triciclo.

3.4.3. Configuración Ackermann

Se usa casi únicamente en la industria del automóvil. Es la configuración que llevan los autos: dos ruedas con tracción traseras, y dos ruedas de dirección delanteras. Esta configuración está diseñada para que la rueda delantera interior en un giro tenga un ángulo ligeramente más agudo que la exterior, y evitar así el derrape de las ruedas.

Como se puede apreciar en la figura, las normales a ambas ruedas se cortan en un punto, que se encuentra sobre la prolongación del eje de las ruedas traseras. Así, se puede comprobar que las trayectorias de ambas ruedas para ángulos de giro constantes son circunferencias concéntricas.

La relación entre los ángulos de las ruedas de dirección (ver figura) viene dada por la ecuación de Ackerman:

$$\cot(\theta_1) - \cot(\theta_2) = \frac{d}{l}$$

Dónde:

θ_1 = ángulo relativo de la rueda interior.

θ_2 = ángulo relativo de la rueda exterior.

l = separación longitudinal entre ruedas.

d = separación lateral entre ruedas.

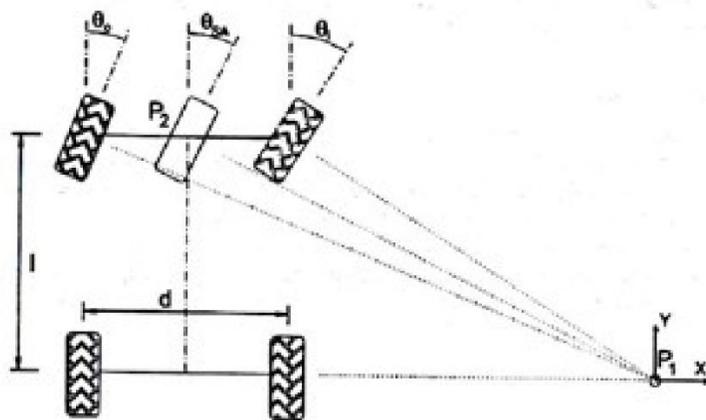


Figura 10. Configuración Ackermann.

La configuración de Ackerman da una solución bastante precisa para la odometría a la vez que constituye un buen sistema de tracción incluso con terrenos inclinados. No obstante, la construcción mecánica de un robot con configuración Ackerman se complica de forma exponencial respecto a las anteriores. Por otro lado, el robot propuesto va a operar en interiores de edificios, con lo que el terreno no va a presentar dificultades como para necesitar una configuración tan completa.

3.4.4. Vehículos con diferentes grados de movilidad

Este tipo de forma se plantea para mejorar la movilidad del vehículo. Suelen ser robots estructurados donde cada una de las articulaciones consiste en módulos con tracción diferencial.

3.4.5. Modelo control guiado diferencial.

Para la exposición del proyecto se elige la configuración de disposición de ruedas con guiado diferencial debido a que se facilita su diseño y construcción, además el error odométrico visto en trabajos pasados es inmejorable para la aplicación.

3.5. Velocidad lineal

Se expone el modelo de control que utiliza la plataforma.



Figura 11. Control guiado diferencial.

$$v = \Delta S, (\text{VELOCIDAD LINEAL})$$

$$w = \Delta \phi, (\text{VELOCIDAD ANGULAR})$$

$$v = (V_r + V_i) / 2$$

$$w = (V_r - V_i) / 2$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \text{sen } \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix}$$

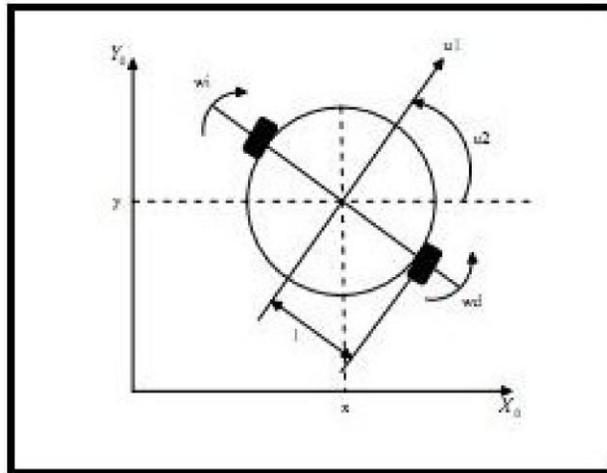


Figura 12. Plataforma posicionada en un plano.

Para poder chequear la plataforma móvil se necesita evaluar la posición relativa (odometría), se calcula la distancia a partir de condiciones iniciales, cuantificando el desplazamiento en las ruedas.

3.6. Odometría.

La odometría es el estudio de la valoración de vehículos con ruedas durante la navegación. Para efectuar esta valoración se utiliza la información sobre la rotación de las ruedas para estimar cambios de la posición a lo largo del tiempo. Este término también es utilizado para reseñar la distancia recorrida del vehículo. [1]

3.7. Efecto hall

El efecto Hall se conoce como la aparición de un campo eléctrico por distanciamiento de cargas al interior de un conductor por el que circula una corriente que atraviesa el conductor en presencia de un campo magnético con una componente perpendicular al movimiento de las cargas. Este campo eléctrico es transversal al movimiento de las cargas y a la componente perpendicular del campo magnético aplicado. Lleva el nombre del físico estadounidense Edwin Herbert Hall quien fue su primer modelador. [12]

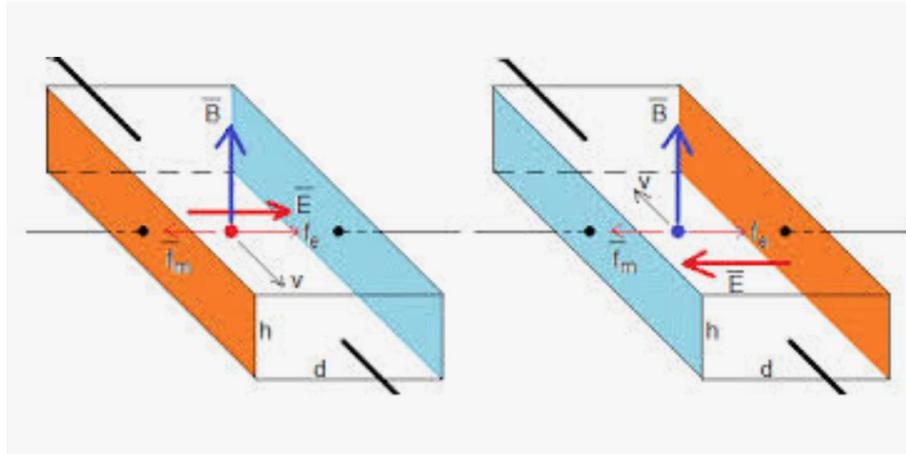


Figura 13. Efecto Hall.

El efecto Hall se utiliza en la plataforma móvil ya que en ella se encuentran módulos infrarrojos (sensores).

4. MATERIALES Y METODOS

En este trabajo se desarrolló una metodología basada en el sistema microcontrolado Arduino para la navegación de una plataforma móvil en una trayectoria lineal. A continuación, se detallan los elementos y subsistemas usados en el diseño de la plataforma.

4.1. Controlador Arduino

La plataforma móvil cuenta con un controlador Arduino mega, encargado del procesamiento de datos enviados desde los sensores y la velocidad de giro de las ruedas, este envía los datos obtenidos al computador que lo controla. Este se encuentra instalado en la parte superior derecha de la plataforma. [15]

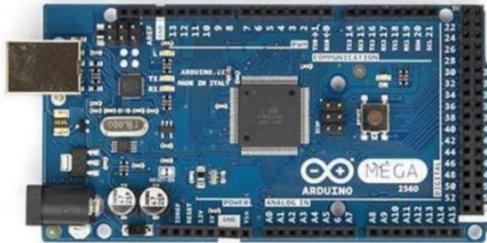


Figura 14. Arduino mega 2560.

4.2. Batería

Instalada en la parte superior se encuentra una batería de 12V , con capacidad de 7A, permitiendo la alimentación con corriente directa de todos los componentes de la plataforma móvil. [14]

La batería utilizada en el proyecto se muestra en la siguiente fotografía.



Figura 15. Batería charging method.

4.3. ENCODER

Para la medición de la distancia recorrida por la plataforma, se tienen instalados encoders los cuales son transductores rotativos que convierten un movimiento angular en una serie de pulsos digitales. Estos pulsos pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo lineal o angular, siendo estos los que permiten la medición de la distancia recorrida.

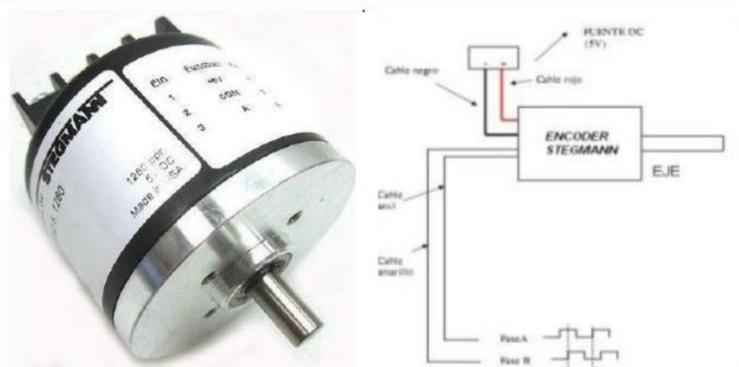


Figura 16. Encoders.

4.4. Sensores de distancia

Un sensor ultrasónico mide la distancia mediante ondas ultrasónicas. El cabezal emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto. Estos sensores miden la distancia al objeto midiendo el tiempo de emisión y recepción. [11] [13]



Figura 17. Sensores ultrasonicos.

4.5. Sensores infrarrojos

El sensor de infrarrojos se basa en la intensidad de una señal luminosa. La luz se puede definir como el conjunto de radiaciones electromagnéticas que forman parte del espectro visible. La radiación se puede definir como la emisión o transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas. Las ondas luminosas (ultravioleta, visible e infrarroja) ocupan sólo una parte muy pequeña del espectro de ondas electromagnéticas. [11] [13]



Figura 18. Sensor infrarrojo.

4.6. Motor DC

En las rudas se cuenta con estos motores, son de gran utilidad cuando se requiere controlar velocidades, este tipo de motores son alimentados a 12V, pueden cambiar su dirección de giro invirtiendo su polaridad.



Figura 19. Motor DC Dyton.

4.7. Modulo control de motores (puente h)

Controla los motores DC, tanto en velocidad y dirección, permite el control PWM de los motores. Este modulo es conectado a la batería de 12V y a los 5V del Arduino.

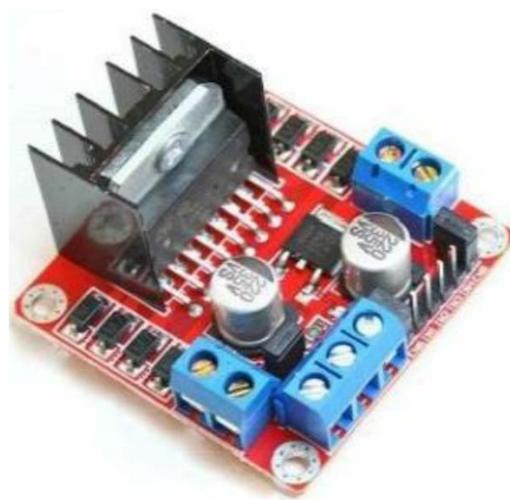
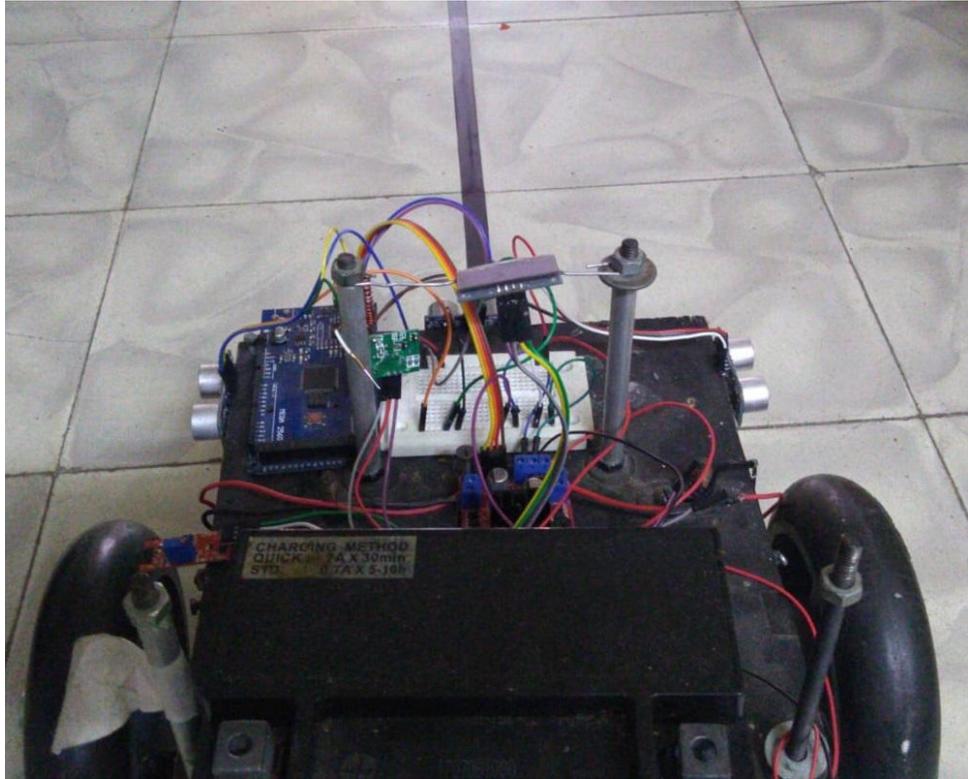


Figura 20. Driver motor L298n.

5. RESULTADOS

5.1. Prueba lineal recorrida



Figuar 21. Prueba lineal.

La primera prueba de la plataforma fue realizar el trayecto de un metro en línea recta para calcular el error medio y la desviación grados con respecto a la línea recta trazada.

Prueba	Distancia recorrida (cm)	Angulo de desviación (°)
1	96,4	7
2	97	3
3	94,2	9
4	100,2	4
5	98,8	4
6	98,1	0
7	96,5	3
8	98,5	3
9	98	3,5
10	97	6
Promedio	97,47	4,25

Tabla 1. Datos de la prueba lineal recorrida.

En la tabla se puede apreciar que el trayecto recorrido por la plataforma es cercano a un metro ordenamiento que se debía ejecutar, con un error del 2,45% satisfaciendo así lo esperado en este proyecto. La desviación del recorrido mostrado fue de 4,25°

5.2. Prueba de giro recto



Figura 22. Prueba de giro recto.

Esta prueba radica en programar la tarjeta Arduino un código con el fin que la plataforma móvil haga un trayecto en forma de “L” y comprobar si el giro es de 90°.

En esta prueba se estableció un movimiento de 80 cm, el cual le fue programado a la plataforma.

Prueba	Distancia recorrida (cm)	Angulo de desviación (°)	Angulo de giro (°)
1	78,9	2	87
2	78,5	4	89
3	81	6	85
4	81,6	1	86
5	80	3	85
6	80	4	86
7	81,3	3	87
8	82,2	2	87
9	81,3	1	88
10	81	4	85
Promedio	80,58	3	86,5

Tabla 2. Datos de la prueba de giro recto.

El valor promedio para estas diez pruebas fue de 80,58 cm y el Angulo de desviación promedio fue de 3°.

El error obtenido en esta prueba fue del 0,72% un error referente bajo que satisface el proyecto. Para el ángulo de giro el error fue de 3,9%.

5.3. Prueba de evasión y navegación de obstáculos haciendo uso de sensores ultrasónicos.

Para esta demostración se tienen en cuenta tres sensores ultrasónicos ubicados de la siguiente forma: uno en la parte frontal de la plataforma, uno en la parte lateral derecha y otro en la parte lateral izquierda. Como se indica en la siguiente fotografía.

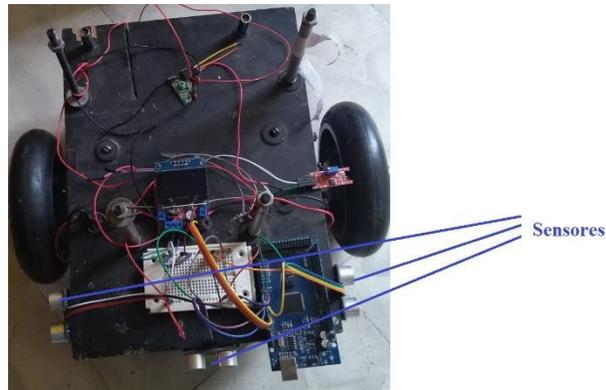


Figura 23. Sensores ultrasónicos operando para evasión y navegación de obstáculos.

La razón de esta demostración es que la plataforma móvil pueda moverse adecuadamente en espacios dinámicos efectuando la evasión de los obstáculos que detecte en el recorrido que realice.

La plataforma móvil tiene la capacidad de hallar obstáculos a una distancia de 5 cm. Luego de detectar algún objeto, la plataforma móvil realiza maniobra de evasión hacia la derecha y continua así hasta que ya no detecte algún obstáculo y proseguir con la navegación.

5.4. Resultados generación de la trayectoria

La idea de esta demostración es ejecutar el control de la plataforma móvil por medio de la interfaz gráfica de Matlab, asegurando una mayor precisión y eficiencia en la realización de ordenamiento asignado.

Los datos registrados en Matlab son remitidos a la plataforma vía módulos de radio frecuencia.

Una vez lista la plataforma móvil precisamente programada, se da inicio a la demostración incorporando los datos iniciales en el primer panel frontal de la GUI de Matlab, siendo estos valores la ubicación inicial de la plataforma.

En esta demostración se plantea que la plataforma móvil efectúe un movimiento de 100cm en X, 100cm en Y, y ejecutado este recorrido se localice en un ángulo de 45° con respecto a su norte magnético.

Una vez realizado este ordenamiento, en la interfaz de Matlab se puede examinar los pulsos entregados por los encoders, los datos ofrecidos por la brújula digital y el desplazamiento realizado por la plataforma móvil entregado en un grafica 2D. Observar la fotografía a continuación.

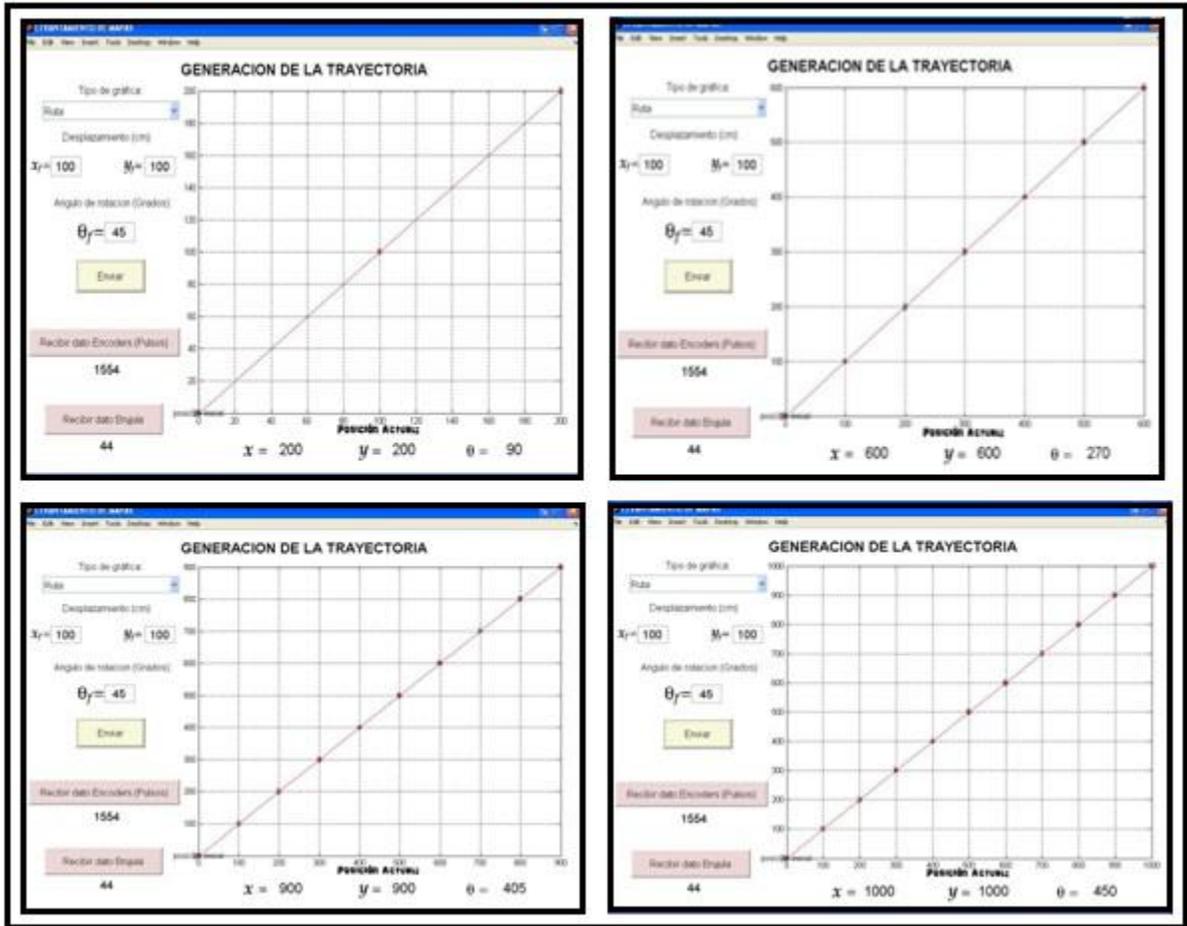


Figura 24. Resultados interfaz de Matlab.

En la tabla que se presenta a continuación se pueden encontrar los datos entregados de los encoders y la brújula digital para diez disposiciones percibidas por la interfaz de Matlab.

Prueba	Pulsos encoders	Grados brújula (°)
1	1554	44
2	1554	44
3	1554	45
4	1554	44
5	1554	44
6	1554	44
7	1554	44
8	1554	43
9	1554	44
10	1554	44
Promedio	1554	44

Tabla 3. Prueba generación de trayectoria.

Con los datos obtenidos, se obtiene que el error aproximado dado de la lectura de los encoders con respecto a los consignados por el internauta es de 3,47% y para la brújula es de 1% aproximadamente.

De lo ocurrido anteriormente se puede aseverar que la interfaz gráfica implementada para el manejo de la plataforma móvil es factible para el uso del presente proyecto ya que el margen de error es comparativamente bajo.

6. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se realizó un montaje de una plataforma móvil donde se desarrollo el proyecto con sensores ultrasónicos, sensores infrarrojos y plataforma Arduino, en la cual se implementó una comunicación inalámbrica mediante módulos de radio frecuencia permitiendo así un intercambio de datos, es de aclarar que este intercambio de datos no es full pero es confiable permitiendo así tener buen control sobre la plataforma y datos estables.
- Se verifico que la plataforma móvil realiza tareas autónomas como las de evasión de obstáculos de manera afirmativa con sensores ultrasónicos.
- Se demostró que la plataforma móvil sigue una línea recta con desviaciones con un promedio de 4,25 grados.
- Se demostró que la plataforma móvil hace un giro de 90 grados con desviaciones promedio de 86,5 grados con un error de 3,9%
- Se observo las virtudes de la plataforma electrónica Arduino como sistema de control de robótica móvil para el montaje que se presentó.
- La interfaz gráfica de Matlab permite la interacción con la plataforma móvil, por esto se puede generar diferentes trayectorias en varios entornos.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Energía de Pereira en la SER Colombia, "Empresa de Energía de Pereira", Septiembre 2016, [online]. Disponible: <http://www.eep.com.co/noticias/625-energia-de-pereira-en-la-ser-colombia>
- [2] En Pereira desarrollan planta solar para secado de café y flores, "El Tiempo", Diciembre 2011, [online]. Disponible: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-10922193>.
- [3] A. L. Hughes, "Fundamental Laws of Photoelectricity," *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. 53, no. 8, pp. 1149-1153, Agosto 1934.
- [4] Barnett, Jason. "controlling-dc-motors-using-python-with-a-raspberry-pi--cms-20051". *business.tutsplus.com*, 11 Abril. 2014. Web. 10 Ene. 2018, [online]. Disponible: <https://business.tutsplus.com/es/tutorials/controlling-dc-motors-using-python-with-a-raspberry-pi--cms-20051>
- [5] Morton. C, Alberto. "CONTROL DE UN ROBOT MEDIANTE RASPBERRY PI". *upcommons.upc.edu*, Febrero. 2014. Web. 12 Ene 2018, [online]. Disponible: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24012/ALBERTO%20MORTON%20CUARTERO.pdf?sequence=1>
- [6] Montoya Osorio, Alejandro y Valencia, Jhonny Alejandro. "Diseno y Construcción de un Anillo de Sensores Infrarrojos con Dispositivos de Logica Programable (FPGAS) para el Levantamiento de Mapas de Entorno y Navegacion de Plataformas Moviles". Tesis de Pregrado. Programa de Ingenieria Electrica. Universidad Tecnologica de Pereira, Colombia. 2008.
- [7] J. d. L. Asiain, «Emisión y recepción de infrarrojos,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2001.

- [8] J. Titus, «Two-Way Communications with Xbee Modules,» de *The Hands-on Xbee Lab Manual*, 2012, pp. 139-156.
- [9] G. Benet, F. Blanes, J. Simo y P. Perez: Using infrared sensors for distance measurement in mobile robots. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 40, No 4, pp. 255 –256. September 2002.
- [10] J. C. Yepes y M. A. Fernández, *P-MITO Plataforma móvil para la investigación de técnicas de odometría*, Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2016.
- [11] Honeywell, «Magnetic Sensors,» 2013. [En línea]. Available: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf. [Último acceso: Julio 2018].
- [12] Efecto Hall. En Wikipedia.(sf) Recuperado el 20 de Noviembre de 2019 de [http//https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Hall](http://https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Hall).
- [13] SHARP, «Sharp Corporation,» 2005. [En línea]. Available: <http://www.heppg.de/ikg/box/adapter/datenblatt/GP2Y0A21YK-DATA-SHEET.PDF>. [Último acceso: Julio 2019].
- [14] Tecnobaterías.[En línea]. Available: http://coco.tiendastore.net/hermes_ima/tecnobaterias/files/Fichas_tecnicas_Baterias/Ficha_Tecnica_TB_12-1.3_12V-1.3AH.pdf. [Último acceso: Julio 2019].
- [15] Arduino, «Arduino,»[En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega>. [Último acceso: Julio 2019].

8. ANEXOS

ANEXO A. PROGRAMACION EVASION DE OBSTACULOS.

```
#include <Ultrasonic.h>
int v = 255, x = 0;
Ultrasonic ultrasonicr(6, 7); // (Trig PIN,Echo PIN)
Ultrasonic ultrasonicl(4, 5); // (Trig PIN,Echo PIN)
Ultrasonic ultrasonicf(2, 3); // (Trig PIN,Echo PIN)

void setup() {

}

void loop()
{
  int distr = ultrasonicr.Ranging(CM);
  int distl = ultrasonicl.Ranging(CM);
  int distf = ultrasonicf.Ranging(CM);

  if (distf < 20) { // distancia del frente
    if (distr > 20) { // analiza si sensor de derecha esta libre para girar a ese lado
      r();
    }
    if (distl > 20) { // analiza si sensor de derecha esta libre para girar a ese lado
      l();
    }
  }
  else
  {
    f();
  }
}

void f() {
  analogWrite(12, v);
  analogWrite(11, x);
  analogWrite(10, v);
  analogWrite(9, x);
}
```

```
void b() {
  analogWrite(12, x);
  analogWrite(11, v);
  analogWrite(10, x);
  analogWrite(9, v);
}
```

```
void s() {
  analogWrite(12, x);
  analogWrite(11, x);
  analogWrite(10, x);
  analogWrite(9, x);
}
```

```
void r() {
  analogWrite(12, v);
  analogWrite(11, x);
  analogWrite(10, x);
  analogWrite(9, v);
}
```

```
void l() {
  analogWrite(12, x);
  analogWrite(11, v);
  analogWrite(10, v);
  analogWrite(9, x);
}
```

ANEXO B. PROGRAMACION DISTANCIA RECORRIDA

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SH1106.h>
#include <VirtualWire.h>
#define OLED_RESET 4
Adafruit_SH1106 display(OLED_RESET);
```

```
int estadoActual1 = 0;
```

```

int estadoUltimo = 0;
int contador = 0;
float radioEnCm = 8.0;
float perimetroRueda = 2 * PI * (radioEnCm / 100);
float distRecorrida = 0;
float distKM = 0;
void setup(){
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(3, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  display.begin(SH1106_SWITCHCAPVCC, 0x3C);

  vw_setup(2000);
  vw_set_tx_pin(2);

  display.display();
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(2);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.setCursor(25, 0);
  display.println("DISTANCIA");
  display.setCursor(25, 20);
  display.println("EN M");
}
void loop() {
  estadoActual1 = digitalRead(3);
  delay(10);
  if (estadoActual1 != estadoUltimo) {
    if (estadoActual1 == HIGH) {
      contador = contador + 1;
      Serial.print ("Vueltas ");
      Serial.println(contador);
      distancia();
    }
  }
  estadoUltimo = estadoActual1;
  if (contador % 2 == 0 ) {
    digitalWrite(4, LOW);
  }
  else {
    digitalWrite(4, HIGH);
  }
}

```

```

}
}
void distancia() {
    distRecorrida = perimetroRueda * contador;
    distKM = distRecorrida / 1000;
    if (distRecorrida <= 999) {
        Serial.print("Distancia recorrida en m= ");
        Serial.println(distRecorrida);
    }
    else {
        Serial.print("Distancia recorrida en Km= ");
        Serial.println(distKM);
    }
    display.display();
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(2);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(10, 0);
    display.println("DISTANCIA");
    display.setCursor(35, 20);
    display.println("EN M");
    display.setCursor(25, 40);
    display.println(distRecorrida);

    char buf [VW_MAX_MESSAGE_LEN];
    String str="";
    str="i"+String(distRecorrida);
    str.toCharArray(buf,sizeof(buf));
    vw_send((uint8_t *)buf, strlen(buf));
    vw_wait_tx();
}

```

ANEXO C. COMUNICACIÓN PC – PLATAFORMA MOVIL

```
import processing.serial.*;
```

```
Serial myPort;
```

```
void setup()
{
  size(500, 150);
  myPort = new Serial(this, "COM7", 9600);
}
```

```
void draw()
{
  String val = myPort.readString();
  if(val != null){

    background(0);
    println(val);
    textSize(50);
    text(val + " m",50,100);
  }
}
```