

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO AUTÓNOMO CAPAZ DE CORTAR CÉSPED EN UN ÁREA PLANA DEFINIDA.

Enrique Pérez y Antonio Saad

RESUMEN

El presente artículo abarca los principales aspectos a considerar para desarrollar un agente robótico, tomando como caso de estudio el desarrollo de un prototipo robótico autónomo capaz de cortar césped en un área plana definida. Esto con el fin de incrementar el desarrollo tecnológico nacional, además de promover el uso de la tecnología como medio para evitar el deterioro de la salud de las personas a causa de la realización de tareas repetitivas.

La ingeniería conceptual comprendió el problema y el planteamiento de la solución utilizando un agente robótico capaz de realizar autónomamente el barrido del terreno mientras corta el césped, además, se expusieron los distintos elementos necesarios para su construcción, así como también los factores medioambientales que pudiesen impactar en su desempeño. Luego, se procedió con la ingeniería básica en donde se presentaron mediante diagramas los distintos elementos que conforman al prototipo, así como también la estrategia de navegación implementada. Y por último, la ingeniería de detalle que abarcó el diseño definitivo del prototipo y su posterior construcción.

El producto final es un agente robótico autónomo capaz de cumplir los objetivos para los que fue diseñado y construido, evidenciándose el éxito del procedimiento utilizado para lograr tal fin.

Palabras clave: Robótica, informática, electrónica, autonomía, navegación.

Key words: Robotics, Computing, Electronics, autonomy, navigation.

Correo electrónico: eaperezmartinez@gmail.com antoniosaadkhalil@gmail.com
Recibido: 07-04-15
Aprobado: 04-07-16

EL PROBLEMA

En el caso de estudio particular del desarrollo de un prototipo robótico autónomo capaz de cortar césped en un área plana definida, el problema se enmarca en tres aspectos principales:

- a. Salud
- b. Ambiente
- c. Economía.

Donde, (a) la salud de los trabajadores se ve afectada por la realización de tareas repetitivas y rutinarias, además de estar expuestos a condiciones ambientales desfavorables que pueden ocasionarles problemas a largo plazo al realizar el trabajo de corte de césped, como la exposición al sol y la permanencia en posturas de trabajo perjudiciales durante espacios de tiempo prolongados, (b) el ambiente es expuesto a gases nocivos al utilizar herramientas que necesitan de la combustión fósil para realizar el trabajo, y por último, (c) desde el punto de vista económico, al automatizarse el proceso de corte del césped con un agente robótico autónomo se evita la necesidad de contratación de este servicio o la implementación de personal en esta tarea, siendo necesaria únicamente una inversión inicial para desarrollar el agente y pequeñas inversiones en mantenimiento para garantizar un funcionamiento constante y sin interrupciones que asegurará un césped de calidad y que cumpla con los rangos de altura recomendados.

Una vez definido el problema y las características negativas de la situación actual, se plantea una solución viable junto con los beneficios asociados a su implementación y para lograr esto se debe hacer una investigación de todos los aspectos relacionados con la solución, principalmente si se desea innovar y en el caso particular de la robótica existen muchos factores importantes relacionados

con el éxito de la solución, especialmente porque abarca tres grandes áreas de conocimiento: la informática, la electrónica y la mecánica.

SOLUCIÓN

Muchas veces, al hablar de soluciones robóticas la primera aproximación se hace en cuanto a lo físico, lo tangible; sin embargo, este enfoque no es el más adecuado, primero se debe comenzar estudiando el comportamiento lógico que tendrá el agente robótico para satisfacer los criterios para los que sería concebido.

Al tratarse de un desarrollo multidisciplinario y con tantas áreas que abarcar, es recomendable seguir una metodología de ingeniería, que comprende una etapa conceptual, una básica y por último una etapa de detalle explicadas a continuación.

a. Ingeniería conceptual:

Esta etapa es la etapa inicial de los proyectos de ingeniería, es donde se determina por qué se quiere realizar el desarrollo y se generan conceptos generales, que dan pie a una solución al contar con diseños o esquemas lo suficientemente válidos para considerar que responden al problema planteado.

b. Ingeniería básica:

En esta segunda etapa se determina qué se quiere mediante diagramas y diseños generales, además se avanza en la concretización de una solución al problema.

c. Ingeniería de detalle:

Esta es la última etapa del diseño general de la solución y es donde se delimita cómo se llevará a cabo mediante la ubicación exacta de elementos y procesos. Se especifica todo lo obtenido en la ingeniería básica y este

refinamiento y optimización lleva a establecer las especificaciones finales de fabricación para posteriormente procurar los materiales, construir lo planificado y en la etapa de terminación entregar el o los productos.

INGENIERÍA CONCEPTUAL

El primer paso sería definir el tipo de paradigma que utilizará el agente cortacésped autónomo (ACA) para manejar la información que percibe del entorno para tomar las decisiones que le permitan lograr su objetivo, de aquí que un robot pueda tener un comportamiento jerárquico o deliberativo, reactivo o híbrido. Cada uno de estos paradigmas tiene sus usos y particularidades, el más antiguo es el jerárquico o deliberativo y consiste en la planificación de las acciones antes de realizarlas, sin importar los estímulos que se puedan percibir del entorno durante su ejecución.

Luego se tiene el paradigma reactivo que se asemeja al comportamiento animal, pues reacciona por reflejo ante alguna señal. A diferencia del jerárquico, no planea ninguna acción, sino que se ve influenciado por los estímulos recibidos del entorno, lo que le permite una alta velocidad de respuesta.

Por último, se tiene el paradigma híbrido que es considerado el más inteligente pues combina los atributos de los dos anteriores, permitiendo planificar las acciones a realizar sin dejar de lado los estímulos que pueda percibir del entorno, reaccionando de esta manera a posibles cambios en el ambiente y permitiéndole llevar a cabo con éxito actividades en entornos de trabajo dinámicos. Debido a las evidentes ventajas de este paradigma, en la actualidad la mayoría de los agentes robóticos trabajan bajo este enfoque, sin embargo, la selección debe estar íntimamente ligada a las actividades que se realizarán y las características particulares del ambiente de trabajo. En el caso de estudio presentado, éste fue el paradigma escogido, principalmente porque el proceso de corte de césped es un proceso de barrido planificado, pero al tratarse de una

actividad a realizar de manera autónoma y en un entorno dinámico, fue imprescindible, principalmente por motivos de seguridad, tener la capacidad de interrumpir la planificación y tomar acciones en presencia de ciertos estímulos.

Una vez definido el paradigma para el manejo de la información, se establece una lógica de trabajo en la que se maximice la eficiencia en el uso de recursos, pues es lo más importante en la mayoría de los casos en los que se utilizan agentes robóticos cuya fuente de energía son baterías y cuya actividad a realizar no requiere extrema precisión.

La estrategia de corte a seguir en el caso de ACA es un barrido del área de trabajo, donde se abarque todo el terreno para asegurar que el césped quede completamente cortado como se desea.

Además de definir el tipo de paradigma de comportamiento del agente, se procede a buscar los componentes y herramientas que permitirán que sea llevada a cabo la solución, donde se deben estudiar los siguientes elementos:

- Fuente de alimentación
- Sensores
- Actuadores
- Unidad de procesamiento

Fuente de Alimentación

Es uno de los cuatro componentes fundamentales pues proporciona la energía para que el agente robótico realice el trabajo. Cuando se trata de energía eléctrica se tienen que evaluar aspectos como la tecnología y las relaciones peso-capacidad y costo-consumo, para encontrar un balance que permita llevar a cabo el proyecto sin mayores complicaciones.

Sensores

Los sensores le permiten al agente robótico percibir los estímulos del ambiente y transformarlos en señales eléctricas que pueden ser interpretadas por la unidad de procesamiento para realizar las acciones pertinentes, mientras más tipos especializados de sensores se tengan, más estímulos se percibirán, incrementando de esta manera la versatilidad del agente y el abanico de acciones que puede realizar. Haciendo una comparación con los seres vivos, los sensores son como los sentidos.

Actuadores

Los actuadores permiten la incidencia directa del agente robótico sobre el entorno que le rodea, generalmente relacionados con motores y son para para el robot lo que son los músculos y extremidades para los seres vivos.

Unidad de Procesamiento

Es el componente que se encarga de procesar toda la información percibida por los sensores y de enviar las órdenes a los actuadores según la lógica de trabajo para interactuar con el entorno.

INGENIERÍA BÁSICA

Teniendo claros los conceptos generales de la solución al problema planteado, se procede a profundizar en cada uno de los aspectos, sin llegar al detalle, pero brindando una aproximación más tangible del resultado final.

Se conoce que el agente debe realizar un barrido del terreno a cortar, sin embargo, es en esta etapa donde se especifica que la posición inicial del prototipo

En la imagen 2, se observa gráficamente la arquitectura del agente basada en el paradigma de comportamiento escogido.

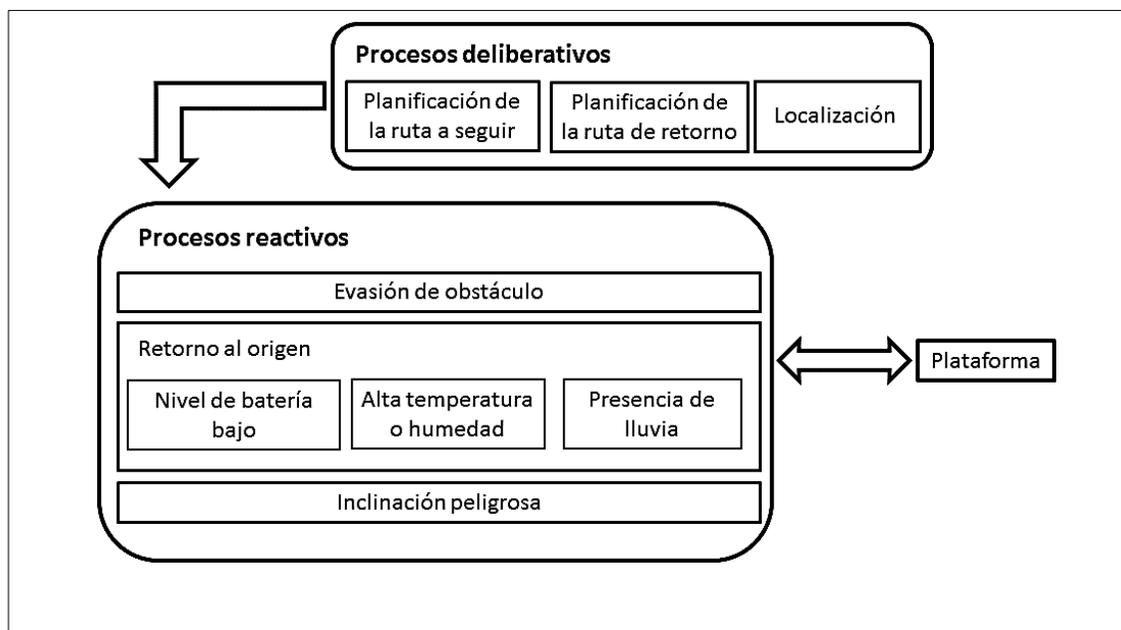


Imagen 2. Arquitectura basada en el paradigma híbrido.

Una vez definida la trayectoria que seguirá el agente para cortar el césped y el paradigma robótico por el que se registrará, es importante establecer bajo qué configuración cinemática se realizará mejor el trabajo. Para definir esto, se deben estudiar los conceptos de holonomicidad y no holonomicidad referenciados por Arkin (1998, p. 90) y tener en cuenta la estrategia de barrido a utilizar, un agente de características holonómicas sería el más adecuado, pues tendría la capacidad de cambiar su orientación sin necesidad de cambiar su posición en el plano, facilitándose así el desplazamiento por el terreno y garantizando una mayor y mejor cobertura de corte.

Para que un agente robótico realice una actividad definida, se deben cubrir cuatro áreas fundamentales desde el punto de vista del procesamiento de la información y la interacción con el entorno, definidas en:

- a. Percepción

- b. Localización
- c. Planificación de rutas
- d. Seguimiento de rutas.

Percepción

La percepción se refiere a la información que será obtenida del entorno mediante los sensores. En el presente caso de estudio se manejaron dos procesos fundamentales, uno de ellos es el desplazamiento por el área de trabajo y el otro la suspensión de las actividades debido a condiciones desfavorables.

Cada proceso maneja la siguiente información:

- a. Desplazamiento por el terreno
 - Posicionamiento
 - Detección de perímetro
 - Evasión de obstáculos
- b. Suspensión de actividades
 - Niveles de carga de la batería
 - Presencia de lluvia
 - Humedad
 - Temperatura
 - Inclinação

Localización

Uno de los aspectos fundamentales dentro de la localización es el mapeo, pues es la representación del ambiente con la que se guiaría el agente robótico para realizar las actividades, la relevancia que tenga la construcción del mapa dependerá de la tarea en particular a realizar o el problema a solucionar, en este caso particular, las dimensiones del mapa se conocen a priori debido a que el área

de trabajo tiene dimensiones determinadas, permitiendo que el mapa no se construya dinámicamente sino que se defina antes de iniciar el trabajo.

Sabiendo esto, el área a cortar es un plano (x,y) , por lo que se debe conocer el desplazamiento del agente en ambos ejes, sin embargo, también es necesario estar al tanto de la dirección de dicho desplazamiento para planificar y seguir la ruta definida. Por este motivo se define un vector de posiciones (x, y, θ) , donde x es el desplazamiento horizontal, y el desplazamiento vertical y θ la orientación.

Planificación de Rutas

Para realizar la planificación de rutas, se deben tener claras las limitaciones cinemáticas del robot, además debe estar en la capacidad de conocer su ubicación y poseer una representación del entorno. Habiendo hecho referencia anteriormente a los dos primeros aspectos, solo queda aclarar que la representación del entorno estará compuesta por un conjunto de celdas de igual tamaño, siguiendo así la teoría de rejillas regulares definida por Siegwart y Nourbakhsh (2004, p.205).

Seguimiento de Rutas

Una vez definidas las etapas previas, se debe contar con mecanismos para llevar a cabo la estrategia de navegación planteada. La ruta a seguir dependerá directamente del mapa que se haya construido del entorno, de los mecanismos que posea para conocer su ubicación en él y de las herramientas con las que cuente para detectar la presencia de obstáculos en el mapa.

Partiendo de las premisas anteriores, ACA debe mantener trayectorias rectas y también debe realizar giros para cambiar su orientación cuando así se requiera. En el caso de detectar obstáculos en el área de trabajo, debe evadirlos para continuar con el proceso de cortado de césped y culminar el proceso con éxito. Existen algoritmos especializados en la evasión de obstáculos, cada uno

con características particulares que cumplen funciones específicas según las necesidades de la solución a implementar, lo mejor a la hora de realizar una elección es evaluar los aspectos positivos y negativos de cada aproximación e inclinarse por la que mejor se adecúe a los requerimientos. El algoritmo seleccionado para la evasión de obstáculos es Bug2 especificado por Siegwart y Nourbakhsh (2004, p. 273), el cual consiste en seguir el contorno del obstáculo hasta el momento en que considera que se puede continuar el desplazamiento hacia el objetivo. En la imagen 3 se observa una representación de la evasión de obstáculos del agente robótico.

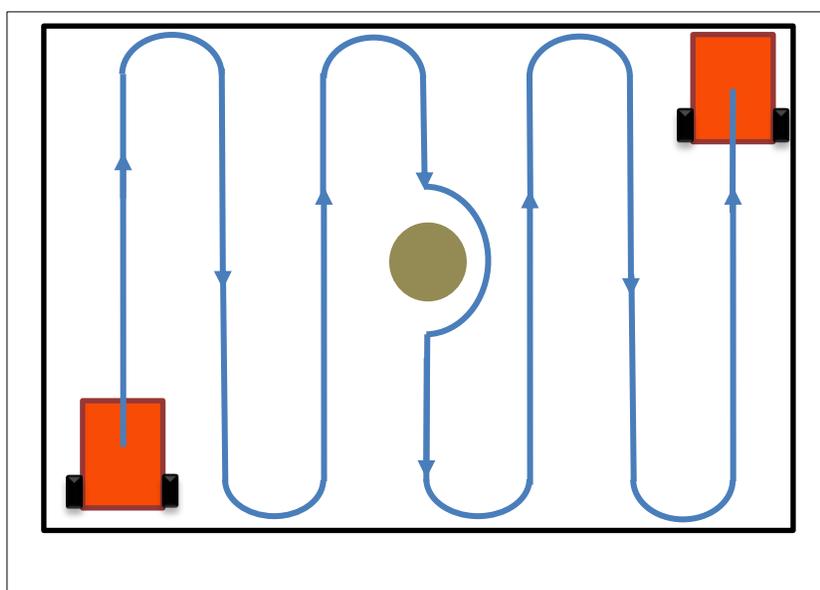


Imagen 3. Evasión de obstáculos mediante Bug2.

Para llevar a cabo la estrategia de navegación planteada, el prototipo robótico necesita de un conjunto de componentes electrónicos que le permiten censar su entorno, un sistema que le permita procesar dicha información y una fuente de energía para, posteriormente, ejercer las acciones correspondientes sobre el ambiente mediante actuadores, además de necesitar una estructura física para agrupar todos estos elementos.

Sensores. En esta etapa se especifican los estímulos que se necesitará obtener del ambiente para tomar las decisiones según las especificaciones del trabajo a

realizar. Cada estímulo del ambiente, debe ser percibido por un sensor especializado. A continuación, se presentan los sensores con los que cuenta ACA y sus estímulos relacionados:

- Sensor de batería: Mide los niveles de la batería
- Sensor de lluvia: Detecta la presencia de lluvia
- Sensor de proximidad: Mide distancia entre el agente y objetos externos
- Sensor de temperatura y humedad: Mide la temperatura y la humedad del ambiente de trabajo
- Acelerómetro: Detecta fuerzas que actúan sobre el agente, información que será utilizada para desactivar los actuadores al ser elevado de la superficie mientras esté en funcionamiento
- Brújula: Mide orientación basándose en el campo magnético de la tierra
- Encoder óptico: Detecta luz entrecortada por un disco giratorio con malla óptica que es interpretada en un desplazamiento lineal
- Sensor de borde: Detecta cuando se alcanzan los límites perimetrales del área a cortar.

Los sensores utilizados dependerán directamente del problema a resolver en particular, por lo que es un área que se debe estudiar cuidadosamente para realizar un diseño adecuado a la solución requerida.

Procesamiento. La recolección de la información proporcionada por los sensores, la toma de decisión y las órdenes enviadas a los actuadores son manejadas por una unidad central de procesamiento, la cual está compuesta, generalmente, por pines de entrada y salida, memoria, unidad de control y unidad para la realización de cálculos matemáticos. La selección de la unidad de procesamiento depende de la cantidad de información que se deba procesar y la dificultad de las actividades a realizar, donde el procesamiento es directamente proporcional a la complejidad de los procesos y actividades.

Baterías. En el mercado existen diversos tipos de baterías, cada una con ventajas y desventajas asociadas a la naturaleza del trabajo para el que fueron diseñadas.

En el caso de los desarrollos robóticos, las baterías de polímero de litio (LIPO) son las más recomendables, en primer lugar por su capacidad de carga y descarga continua y en segundo lugar por su baja relación peso-capacidad. Otras baterías de tecnología similar a las LIPO son las de iones de litio (LI-ION), con la salvedad de que el tamaño es un poco mayor en comparación. Por último, se tienen las baterías de plomo-ácido, este tipo es el menos recomendable para implementaciones robóticas debido a que son bastante pesadas y los tiempos de carga son elevados.

Locomoción. Otro de los aspectos fundamentales es el tipo de locomoción que tendrá el agente robótico pues junto con las características del trabajo a realizar es el punto de partida para comenzar a diseñar la estructura mecánica. Como se especificó anteriormente, se desea una configuración holonómica para facilitar el seguimiento de rutas, por lo que la elección de la locomoción se reduce entre sincro-drive y diferencial.

Por motivos de simplicidad y practicidad, ACA cuenta con una locomoción diferencial. Este tipo de locomoción es una de las más usadas en la robótica debido a su facilidad de implementación y maniobrabilidad, caso contrario en la sincro-drive, considerada una de las más complejas.

Actuadores. Al decantarse por una locomoción diferencial, indudablemente se deben tener dos motores independientes entre sí, que permiten el desplazamiento por el área del terreno del agente robótico, aunado también a un tercer actuador encargado de hacer girar la herramienta de corte para cumplir con el objetivo para el que fue concebido el proyecto, cortar el césped.

Materiales. La estructura principal del agente robótico debe ser construida con un material firme y liviano para reducir la carga de los actuadores, entre las opciones de materiales que se estudiaron se tiene aluminio, acrílico y madera. La elección del material depende, principalmente, de las condiciones del lugar de trabajo y del propósito del prototipo, además del presupuesto con el que se cuente. En este

caso se escogió trabajar con madera por su resistencia, flexibilidad, firmeza y bajo costo.

INGENIERÍA DE DETALLE

Esta es la etapa más importante del diseño del agente robótico, pues el resultado de ella será lo que brinde la información necesaria para proceder a la construcción del mismo. Sin embargo, para llegar a esta etapa se debió cubrir previamente la lógica de funcionamiento y los componentes que permitirán que sea llevada a cabo.

Para todos los elementos que componen al agente robótico, como por ejemplo los sensores, los actuadores, los controladores o procesadores, las baterías y los materiales para la construcción de la estructura de soporte; se debe especificar el modelo y las características, además de los diagramas para construir alguno de ellos en caso de ser necesario. También se deben realizar los diagramas del funcionamiento lógico y detallar los algoritmos que le permitirán llevar a cabo el trabajo.

En caso de querer ahondar en los detalles de cada aspecto del caso de estudio, referirse a (Pérez & Saad, 2014).

CONSTRUCCIÓN

Al contar con el diseño y el detalle de todos los elementos que componen al agente robótico, la siguiente etapa es la procura de los mismos y la posterior construcción y ensamblaje.

En el caso de construcciones robóticas, es recomendable realizar prototipos para asegurarse de que todo funciona correctamente antes de hacer una versión

definitiva, porque si hay algo seguro en la robótica es que surgirán imprevistos durante la construcción y al momento de realizar las pruebas.

Pruebas

Las pruebas se realizan a lo largo de la construcción, debido a que es importante ir verificando el funcionamiento de cada componente para asegurarse de que los resultados que se obtendrán luego de completar esta etapa sean los esperados, resultados que serán corroborados también mediante pruebas.

Entre las principales recomendaciones para la realización de pruebas se tiene que deben realizarse tanto en condiciones controladas como en el ambiente donde el agente robótico realizará el trabajo. Esto debido a que generalmente los sensores son sensibles a cualquier alteración de las condiciones de trabajo, pudiendo verse afectados los datos recibidos y por consiguiente el funcionamiento general del agente. Esto tiene vital importancia si se trata de agentes robóticos que realizan trabajos en ambientes no controlados, donde están expuestos a condiciones variables e impredecibles.

Las pruebas son una de las etapas fundamentales en el desarrollo del agente, es necesario realizarlas y llevar un registro de los resultados obtenidos en cada una de ellas, pues de esto dependerá que se pueda verificar que el producto final es un producto de calidad que es capaz de cumplir con sus objetivos sin problemas.

CONCLUSIONES

De los objetivos planteados al iniciar la investigación, se obtuvo una serie de conclusiones presentadas a continuación:

- Para construir un agente robótico se deben tener en cuenta todos aquellos factores medioambientales donde se desenvolverá, pues cada uno de ellos influirá

directamente en su funcionamiento y si no se tienen en cuenta se verá afectado su desempeño.

- Para construir el prototipo se debe realizar un diseño previo y asegurarse de que sea el más adecuado para cumplir con el propósito para el cual es concebido, pues un proceso de reingeniería en este tipo de desarrollos es costoso.

- Todos los sensores tienen errores asociados a sus mediciones, por lo que es importante conocer en qué grado se ven afectadas en relación con la realidad y aplicar estrategias para mitigar dichos errores.

- En la construcción de agentes móviles de este tipo, la utilización de actuadores especializados mejoran el rendimiento general del prototipo en gran medida.

- Los detalles de la construcción del prototipo son importantes, pues afectan directamente el rendimiento del mismo, por lo que se deben cuidar aspectos como la simetría, el balance y los apoyos para garantizar estabilidad y precisión en los movimientos.

- Es importante la abstracción y modularización del código para facilitar el entendimiento, la mantenibilidad y la escalabilidad del mismo.

- Al diseñar algoritmos para un prototipo robótico, se deben tener en cuenta todos los factores que influyan en su desenvolvimiento en el entorno de trabajo, pues de no considerarlos, aun cuando el algoritmo funcione correctamente en condiciones ideales, al momento de la puesta en marcha, puede fallar.

- Al momento de desarrollar el software para prototipos robóticos se debe tener en cuenta el comportamiento de los sensores y contar con la posibilidad de aplicar filtros que ayuden a evitar la utilización de datos erróneos durante la ejecución del mismo.

- Las pruebas realizadas en el laboratorio no siempre dieron los mismos resultados al realizarse en el ambiente de trabajo.

REFERENCIAS

Arkin, R. (1998). *Behaviour-based robotics*. Massachusetts: MIT Press.

Pérez, E. & Saad, A. (2014). *Desarrollo de un prototipo robótico autónomo capaz de cortar césped en la cancha de fútbol de la Universidad Católica Andrés Bello extensión Guayana. Puerto Ordaz.*(Tesis de Grado, Universidad Católica Andrés Bello - Guayana).

Siegwart, R., & Nourbakhsh, I. (2004). *Introduction to autonomous mobile*. Cambridge: The MIT Press.