

SIMULACIÓN DE TRAYECTORIAS-2D PARA UNA PLATAFORMA APLICADA A LA MOVILIDAD DE ESTUDIANTES CON CAPACIDADES DIFERENTES

2D TRAJECTORY SIMULATION FOR A PLATFORM APPLIED TO THE MOBILITY OF STUDENTS WITH DIFFERENT SKILLS

L. A. Martínez Cabrera¹
A. G. Roa Borbolla²
Y. Cervantes Villalba³
J. Chacón Méndez⁴

RESUMEN

El presente trabajo es parte del proyecto presentado en la XLVII Conferencia Nacional de Ingeniería 2020 de la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (ANFEI), el cual hace mención del desarrollo de una plataforma que tiene como objetivo facilitar la movilidad de estudiantes en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (Martínez *et al.*, 2020). Con el desarrollo de este proyecto se realizó un mapeo tridimensional de las instalaciones de la unidad multifuncional de talleres y laboratorios de la institución antes mencionada.

Se realizaron simulaciones de más edificios del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST), de tal forma que se pueda predecir la navegación de la plataforma y su comportamiento, para así, generar nuevas rutas de navegación y de esta forma evitar colisiones o errores en la navegación dentro de las instalaciones.

Por ello, se desarrolló un algoritmo computacional para el sistema de navegación a través de la plataforma libre ROS, el cual cuenta con una amplia gama de herramientas que ofrecen al usuario un amplio número de diversas aplicaciones para robótica móvil como el implementado en este trabajo, plataforma Wicbot. Para ello, se realizó la simulación de trayectorias 2D, haciendo uso del mapeo de áreas y creación de trayectorias para los diferentes entornos con ayuda de los paquetes de ROS, SLAM y Gazebo, el cual facilitan la exploración y mapeo con la ayuda de cámaras y sensores, permitiendo la detección de lugares y obstáculos y la creación mapas en 2D y 3D.

ABSTRACT

This work is part of the project presented at the XLVII National Engineering Conference 2020 of the Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (ANFEI), which mentions the development of a platform that aims to facilitate the mobility of students in the facilities of the Higher Technological Institute of Teziutlán (Martínez *et al.*, 2020). With the development of this project, a three-dimensional mapping of the facilities of the multifunctional unit of workshops and laboratories of the afore mentioned institution was carried out.

Simulations of more buildings of the Higher Technological Institute of Teziutlán (ITST) were carried out, in such a way that the platform's navigation and its behavior can be predicted, to generate new navigation routes and thus avoid collisions or navigation errors within the facilities.

For this reason, a computational algorithm was developed for the navigation system through the ROS free platform, which has a wide range of tools that offer the user a wide number of applications for mobile robotics such as the one implemented in this work, the Wicbot platform. For this, the simulation of 2D trajectories was carried out making use of the mapping of areas and creation of trajectories, for the different environments, with the help of the ROS, SLAM and Gazebo packages, which facilitate exploration and mapping with the help of cameras and sensors, perception of places and obstacles and the creation of maps in 2D and 3D.

¹ Profesor asignatura tipo B del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. luis.mc@teziutlan.tecnm.mx

² Profesor de Asignatura B del Universidad Veracruzana campus Orizaba. arroa@uv.mx

³ Tesista Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán L16TE0466@teziutlan.tecnm.mx

⁴ Tesista Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán L15TE0453@teziutlan.tecnm.mx

ANTECEDENTES

Se considera como capacidades diferentes a todas aquellas personas que tiene alguna limitación física o mental, la cual le impide de una u otra manera la realización de actividades cotidianas, tales como lo son las realizadas en casa, escuela, trabajo, etc. En México, las actividades con las cuales se presentan mayor dificultad y, en las cuales es posible observar un mayor número de porcentaje, son aquellas relacionadas con caminar, subir o bajar, usando las piernas con un 53.3% en primer lugar, mientras que, en segundo lugar, con 39.6% encontramos a personas cuyo problema radica en la vista (INEGI, 2019).

En los últimos años, la inclusión ha formado parte importante del desarrollo de la sociedad, dando paso a la creación y desarrollo tecnológico de herramientas que contribuyan en mayor manera al desarrollo y mejora en la calidad de vida de la sociedad en general, para lo cual, el uso de la robótica ha llegado a formar parte importante de este desarrollo, creando consigo un sin número de proyectos que relacionan a las personas con capacidades diferentes intentando dar solución a muchos de los problemas que enfrenta la sociedad (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020).

En este trabajo se busca dar solución a uno de los principales problemas a los que se enfrentan el mayor número de personas con capacidades diferentes en México, el cual se relaciona con el transporte y movilidad de manera natural, dentro de los diferentes espacios en los cuales suelen involucrarse día a día. Para lo cual, se realizarán las bases a utilizar para el uso de plataformas móviles que contribuyan a una mejor movilidad dentro de espacios determinados, facilitando de esta forma su movimiento y desplazamiento.

Por ello se plantean las siguientes preguntas.

- ¿Se cuenta con la información necesaria?
- ¿Existen proyectos similares?
- ¿El desarrollo del proyecto da solución a la problemática?
- ¿Se tendrá el impacto previsto?
- ¿Las simulaciones apoyaran a tener una mejor perspectiva en la navegación?

Objetivos

Desarrollar simulaciones de trayectorias en entornos 2D, para determinar rutas que apoyen la navegación de una plataforma para movilidad autónoma de estudiantes con capacidades diferentes en el ITST.

Específicos

- Selección de herramientas necesarias para el desarrollo del proyecto.
- Desarrollo de los algoritmos computacionales.
- Simulaciones del sistema por medio de SLAM y ajustes.
- Propuesta del autómata y hardware necesario para la ejecución del sistema.

Justificación

Independientemente de la causa, una de las mayores inquietudes a los que suelen enfrentarse las personas, en caso especial los estudiantes del sistema de educación superior, para lo cual precisamente en esta etapa de su vida, es cuando están a un paso de incluirse al sector

productivo y ser independientes, en múltiples aspectos. Por ende, una persona que presente factores de dependencia, hará más difícil la realización de actividades cotidianas tanto de carácter personal y profesional, haciendo más difícil un correcto desplazamiento dentro de espacios determinados tales como los son centros de trabajo y lugares públicos, provocando así una deficiente calidad de vida. Es por esto mismo que en los últimos años se han intentado crear programas que contribuyan de manera directa al desarrollo de inclusividad, con el fin de hacer posible un mejor desarrollo social, creando mayores oportunidades que incluyan e integren de mejor manera a todas las personas con capacidades diferentes, dentro de la sociedad y en los diferentes sectores.

Por esto mismo que la creación e implementación de mecanismos móviles, que contribuyan y brinden un mejor desplazamiento dentro y fuera de cualquier institución educativa a personas con capacidades diferentes, da pauta a la creación de una plataforma cuya función principal se base en el desplazamiento seguro de toda personas con capacidades diferentes, basándose de manera principal en aquellas que presentan discapacidad motriz o visual, asegurando su fácil y seguro desplazamiento, contribuyendo de este modo a un mejor desarrollo educativo y profesional.

Marco teórico

El desarrollo de tecnologías y el uso de ellas para que sean implementadas en mejorar el bienestar de la humanidad y en especial a las personas con capacidades diferentes, quienes son una parte importante en la economía de la sociedad, has sido causa para el desarrollo de proyectos tales como, el An Approach based on a Robotics Operating System for the Implementation of Integrated Intelligent House Services System, el cual es un sistema basado en operación robótica (ROS) para integrar diferentes servicios en un sistema de servicios domésticos inteligentes, estos robots pueden moverse sobre el entorno y modificarlo, pero también interactuar con los habitantes de la casa de una manera más cercana (Castro *et al.*, 2019).

Realistic and Automatic Map Generator for Mobile Robots, este trabajo presenta un generador de mapas realista y automático para robots móviles basado en Gazebo, debido a que Gazebo es un simulador muy avanzado que se puede usar junto con ROS (Roa, *et al.*, 2018).

METODOLOGÍA

La elaboración y simulación de un algoritmo, basado en la teoría de grafos, el cual está destinado a la implementación de plataformas de desplazamiento autónomas, capaces de desplazarse de manera correcta dentro de entornos en los cuales sea posible encontrar, durante su camino; no solo obstáculos si no también rampas por las cuales sea necesario desplazarse de manera correcta, sin presentar mayor dificultad.

La plataforma cuenta con un sensor laser, el cual contribuye en primera instancia con la elaboración del mapeo y reconocimiento del entorno por el cual va a desplazarse, haciendo posible la fácil ubicación de este dentro de su entorno. Así como, también contribuir en el reconocimiento de obstáculos para la realización de su correcto desplazamiento en tiempo real de manera autónoma.

El diseño cuenta con cuatro ruedas, las cuales harán posible el desplazamiento y realización de tareas a lo largo de todo su entorno. De manera inicial, el prototipo es diseñado bajo especificaciones básicas, teniendo en cuenta que se desea analizar fundamentalmente el correcto funcionamiento de los algoritmos más que el sistema mecánico, haciendo posible futuras aportaciones entorno al diseño.

Locomoción con rueda

De acuerdo con las principales características a considerar para el desplazamiento de una plataforma dentro de un entorno, es posible elegir el tipo de locomoción que mejor se adapte a las necesidades establecidas.

La locomoción basada en el uso e implementación de ruedas es una de las más comúnmente usadas dentro de la robótica móvil, esto se debe en gran manera a sus múltiples ventajas, tal como lo es su eficiencia y simplicidad. Dentro este tipo de locomoción es posible encontrar diferentes tipos de configuraciones basadas en el uso de ruedas siendo las más comunes la diferencial, de triciclo y Ackermann (Hernández, *et al.*, 2017).

Para la implementación de locomoción de la plataforma WicBot se toma como referencia el sistema de locomoción usada en las sillas de ruedas convencionales, modificando aspectos importantes dentro del diseño tal y como son el tamaño de las llantas, las cuales en este caso cuentan con un diámetro igual en todas ellas, otro cambio importante realizado fue con respecto a la tracción, la cual es realizada con ayuda de la ruedas delanteras, a diferencia de las sillas de ruedas, donde la tracción es realizada por la ruedas traseras.

Para la implementación de la plataforma WicBot se optó por el uso de un sensor laser, teniendo en cuenta algunas de las características importantes a considerar a la hora de elegir el sensor, de este modo resulta posible la implementación de cámaras de video, para el censado, acoplando junto con ella bibliotecas destinadas a “Convertir” las imágenes recolectadas de la cámara en datos de profundidad unidimensional (Márquez, *et al.*, 2014).

El funcionamiento de éstos resulta de la emisión de rayos de luz, los cuales al ser emitidos rebotan con aquellos objetos que se presenten durante su trayectoria, creando así una reflexión de luz la cual es detectada con ayuda del receptor, haciendo posible el reconocimiento de objetos y distancias dentro de su ángulo de visión, el cual varía dependiendo del tipo de modelo que se utilice.

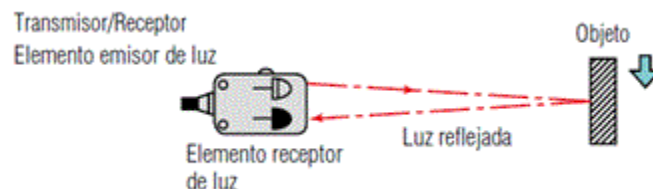


Figura 1. *Funcionamiento de sensor laser* (Ollero, 2001).

La elaboración del algoritmo utilizado se basó de manera principal en esta teoría, de tal modo que fue posible la creación de grafos, basándose en los diferentes puntos clave existentes dentro del entorno sobre el cual la plataforma WicBot se desenvolverá.

Para la elaboración del grafo fue necesario hacer el análisis de la infraestructura del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, tomando en cuenta todas las zonas a considerar como lo son los edificios, canchas y pasillos, en las cuales es posible desplazarse de manera rápida en las escaleras y las rampas con las que cuenta la institución.

Ejemplo de esto lo podemos ver en el mapa realizado de manera gráfica en donde se representa de manera general la infraestructura con la que cuenta la institución Figura 2, donde es posible observar cada una de sus partes más importantes a considerar para la elaboración del grafo.

En color gris se indican las partes que son planas, en las cuales es posible el correcto desplazamiento de la plataforma, tales como pasillos, canchas y espacios libres. Por otro lado, las partes azules indican las rampas por las cuales es posible el desplazamiento y, por último, las partes en color rojo, donde se representan las escaleras que se encuentran dentro de la institución y por las cuales no es posible desplazarse haciendo uso de la plataforma.

Una vez realizado un análisis general, es posible determinar los puntos clave a considerar, para lo cual se eligen los diferentes edificios (A, B, C, D, E, F, G), así como, otras áreas recurrentes existentes dentro del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, como lo son la cafetería, comedor, baños, entre otros. Con esto es posible el conformar los diferentes vértices dentro del grafo. Por otro lado, las aristas son los posibles desplazamientos existentes entre ellos, como son los pasillos y rampas, las cuales conectan a los diferentes vértices. Teniendo localizados los vértices y aristas es posible conformar el grafo con el cual se trabajó para la realización de algoritmo de navegación, de este modo se conformó el grafo tal y como se muestran en la Figura 3.

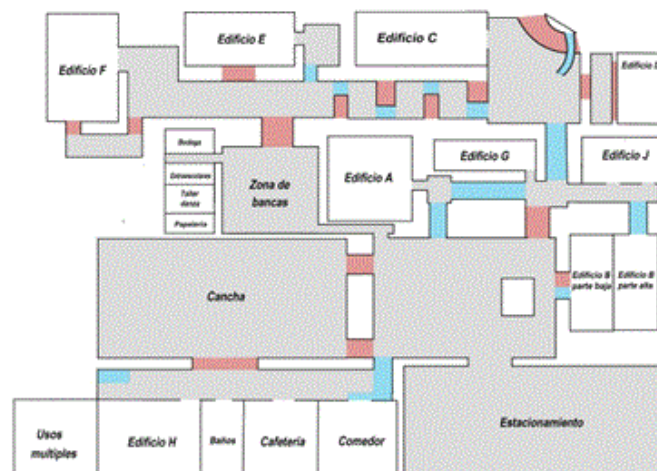


Figura 2. Representación gráfica de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán



Figura 3. Representación tipo árbol de las Instalaciones del ITST



Figura 4. Diagrama de árbol de las instalaciones del ITST utilizada para la elaboración del algoritmo de navegación

Para la realización del algoritmo fue necesario el considerar su objetivo principal, el cual se basa en generar rutas para un eficiente desplazamiento de dispositivos móviles, tal como lo es la plataforma WicBot. Su elaboración utiliza el sistema de grafos antes visto. El cual es considerado como un árbol genealógico, que se encuentra conformado por padres e hijos respectivamente. Gracias a esto, es posible la creación de relaciones entre los diferentes vértices que pudieran encontrarse dentro de un mismo grafo.

Por lo que resulta importante el definir nombres de identificación para poder realizar el reconocimiento de cada uno de ellos y sus relaciones con otros.

Otro punto importante, para el reconocimiento de vértices, son las coordenadas de cada uno de estos, para lo cual se tiene en cuenta que al representar un espacio dentro de un mapa cuentan con una posición en coordenadas fija, la cual no puede ser cambiada una vez especificada, ya que, no existe movimiento alguno de estas ubicaciones dentro del mapa.

De manera general el desplazamiento y generación de trayectorias se basa en el seguimiento de órdenes proporcionadas por el usuario, las cuales son recibidas por la plataforma, y esta se encarga de hacer un análisis en base a la información con la que cuenta y de este modo cumplir de manera exitosa la tarea encomendada.

El desplazamiento de la plataforma se realiza con base en las coordenadas determinadas por la trayectoria a tomar, de tal modo que cada una de ellas será considerada como punto importante a la hora de cumplir con la tarea de desplazamiento, llegando así de manera correcta hasta la posición deseada.

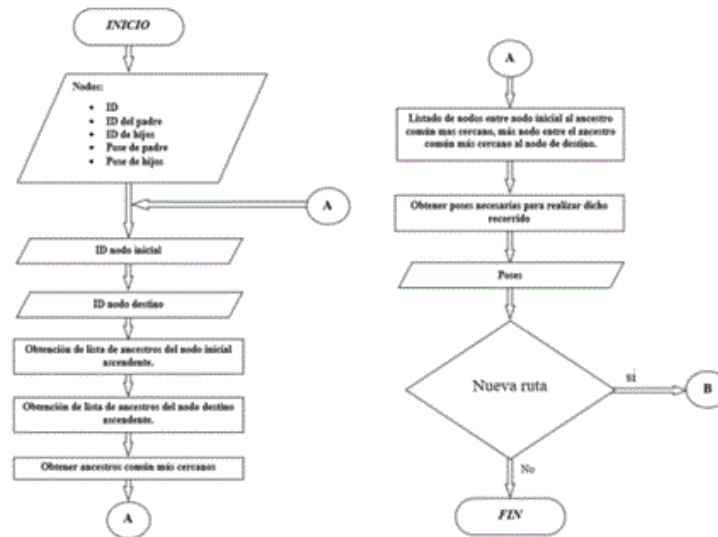


Figura 5. Algoritmo de navegación implementado

El algoritmo de navegación se encuentra formada de manera general, por una serie de pasos a seguir los cuales son:

- Determinar las ID de identificación y clasificación de rango de cada uno de los vértices dentro de un mismo grafo. (Solo se realiza de manera inicial).
- Conocer la posición inicial de la plataforma.
- Proporcionar la posición de destino o posición final de la plataforma.
- Obtener la lista de ancestros de la posición inicial.
- Obtener la lista de ancestros de la posición final.
- Reconocimiento del vértice común más cercanos
- Obtención de posiciones entre los dos vértices
- Generar lista de posiciones, relacionando los dos vértices
- Obtención de coordenadas para determinar la trayectoria a seguir
- Realización del desplazamiento de la plataforma
- Esperar nueva ruta.

Con base en el algoritmo para la navegación de la plataforma Wicbot se realizaron pruebas y simulaciones, con el fin de observar el comportamiento de este, dentro de entornos en los cuales existieran múltiples rampas u entornos que resulten similares a las necesarias, para poder determinar de esta forma la factibilidad con la que cuenta el algoritmo.

Las pruebas del algoritmo en la simulación, se toma como ejemplo el mapa presentado en la Figura 6, el cual está compuesto de 6 niveles diferentes interconectados por medio de rampas. Observando que al inicio y al final de cada rampa existe un punto, por los cuales tendrá que detenerse si se requiere avanzar por dicha rampa.

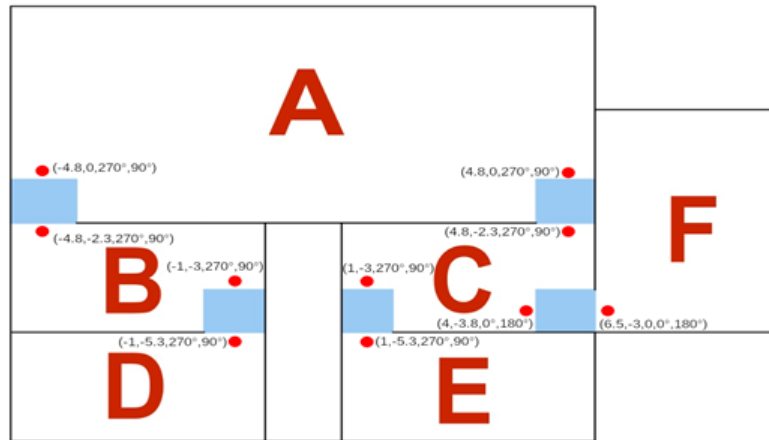


Figura 6. Mapa de entorno implementado en la simulación

Tomando como base el mapa mostrado en la Figura 6, fue posible un análisis de la misma forma que se realizó para determinar los grafos dentro del mapa del ITST.

El mapa se representa como un árbol de 6 nodos, Figura 7, el cual cumple con los parámetros necesarios para que el algoritmo funcione. Con un único nodo raíz, es posible trazar un camino desde el nodo raíz hasta cualquier otro nodo, no existen ciclos dentro de la distribución, y todos los nodos forman parte de un solo árbol, es decir que no hay ningún grupo de nodos desconectado del resto. Adicionalmente, se puede observar que hay un punto en cada extremo de cada rampa, ya que si se quiere atravesar por dicha rampa se debe hacer con movimientos por uno de esos puntos hacia el otro. Hay que notar, que se tiene una pose con 4 datos, dos coordenadas y dos ángulos, esto último es debido a que por una rampa la plataforma puede moverse en dos direcciones, o subir o bajar, dependiendo si está entrando o saliendo de la rampa o en caso de que haga uso cada uno de estos valores.

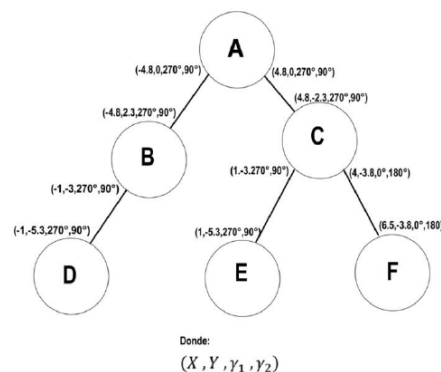


Figura 7. Diagrama de vértices del entorno en la simulación

Simulación

El diseño fue realizado en Gazebo, este representará el escenario deseado, como se muestra en la Figura 8, la zona gris representa al nodo raíz, la zona azul los nodos hijos de este, y en color verde a su vez los hijos, la zona roja representa una pared, mientras que, las zonas grises representan las rampas de acceso, excepto la zona gris inferior central, la cual es el dispositivo puesto para poner en contexto el tamaño de este. Como se puede ver es el mismo entorno que el presentado en la Figura 6, aunque rotado a 180°.

Como representación del dispositivo a controlar se utilizó el mostrado en la Figura 8, el cual cuenta con una tracción en sus dos llantas delanteras, y en la parte de atrás cuenta con ruedas seguidoras. También se puede apreciar que en la parte superior cuenta con un sensor láser, en este caso, tiene un ángulo de visión de 160°. De manera práctica la simulación se ejecuta con un sensor laser, sin embargo, resulta importante el resaltar que puede ser usado cualquier tipo de sensores mientras este cuente con las especificaciones necesarias para su correcto funcionamiento.

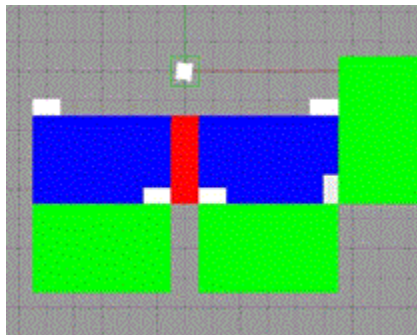


Figura 8. *Entorno diseñado en Gazebo*

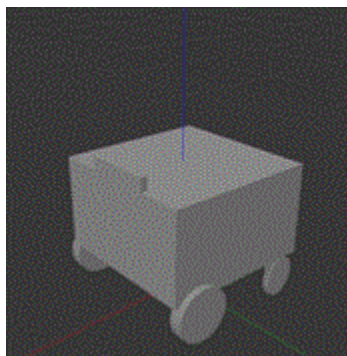


Figura 9. *Dispositivo Utilizado por la simulación*

Una vez hecho el entorno simulado, así como, el dispositivo encargado de realizar la simulación de la plataforma WicBot, fue posible realizar el mapeo de entorno que se deseaba conocer.

El mapa resultante del mapeo realizado para el reconocimiento que contiene los obstáculos estáticos del entorno sobre el cual este se desenvuelve, mientras que, los obstáculos

dinámicos se encontrarán gracias al sensor del dispositivo a la hora de desplazarse a través de mapa estático.

Dentro del mapa final resultante es posible observar áreas sombreadas de colores (Figura 10), de los cuales resulta importante destacar que el color negro representa el interior del mapa as como la zona ocupada, el blanco corresponde a la zona desocupada y el color gris, las zonas desconocidas o no exploradas.

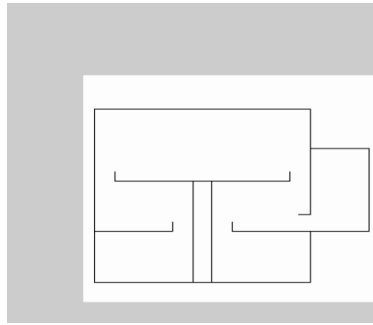


Figura 10. Mapa de entorno utilizado para el trazado de trayectorias

Una vez iniciada la simulación en Gazebo, se inicia la publicación de los datos obtenidos a ROS por medio de “topics”. Para lo cual, se utiliza el software Rviz, el cual permite visualizar los datos del entorno sin necesidad de verlo de manera directa, tal y como se muestra en la Figura 12. En dicha figura es posible el observar algunos de colores adicionales que no se logran ver o no se aprecian dentro de la Figura 8. El color azul que se observa en el mapa proporcionado por RViz, representa el radio seguro que no debe de sobrepasarse para que no exista una colisión por parte del dispositivo móvil, además se aprecia un cuadro oscuro que rodea al mismo, en este se muestra el mapa local del dispositivo, el cual es utilizado para mostrar los obstáculos dinámicos en caso de haberlos, dentro de su área, asiendo así posible el esquivarlos a tiempo.

En Figura 12, se muestran las trayectorias propuestas por el algoritmo de nodos, las cuales optimizan y dan prioridad al movimiento coordinado de las llantas al entrar y salir de las rampas.

```
jafetca@ChaconPC:~$ roslaunch testecbot_goal_navigation simple_navigation_goals
A [parent: ~]. (2 children)      There are: B C
B [parent: A]. (1 children)      There are: D
C [parent: A]. (2 children)      There are: E F
D [parent: B]. (0 children)
E [parent: C]. (0 children)
F [parent: C]. (0 children)

Ingrese al nodo al que se desea mover: E

Camino para llegar de <<A>> a <<E>>:
-> A -> C -> E
La serie de coordenadas a seguir son:
Current location: A
(4.8,0.0)
[INFO] [1606857637.109117224, 21.513000000]: Sending goal
```

Figura 11. Trazado de la trayectoria AD

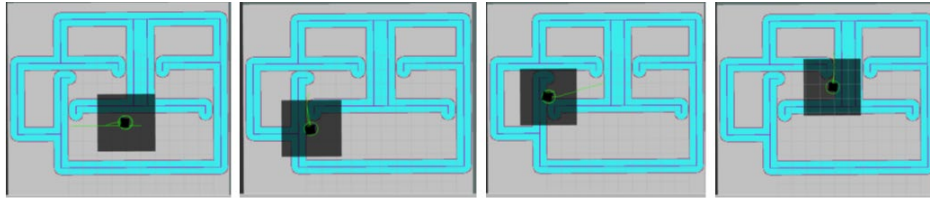


Figura 12. Trayectorias de los diferentes nodos A, C, D. En Rviz

RESULTADOS

Las simulaciones realizadas permitirán a la “plataforma para sillas de ruedas para estudiantes con capacidades diferentes” (Martínez *et al.*, 2020, una mejor movilidad y calculo en sus trayectorias dentro de las instalaciones del ITST, el cual dicha plataforma implementa un sistema de control de fusión de sensores.

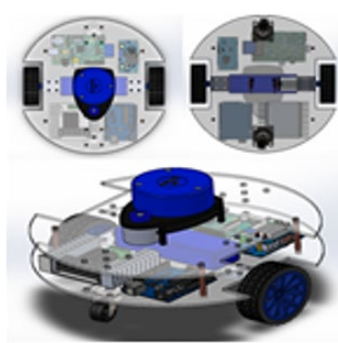


Figura 13. Prototipo presentado en la XLVII Conferencia Nacional de Ingeniería 2020

Las simulaciones permitirán una mejor forma de predecir las trayectorias y el comportamiento del prototipo ante los distintos ambientes que puede tener las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, estableciendo mejores rutas de navegación y con ello mucho más seguras para que el dispositivo móvil pueda tener una mejor autonomía y así poder mejorar el objetivo principal planteada en la hipótesis, tener una incertidumbre de error menos a 5cm en la navegación.

Las tesis de los alumnos antes mencionado pertenecientes a la carrera de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, comprobaron la funcionalidad de los grafos, así como el desarrollo de los ambientes virtuales de navegación.

El grafo de la Figura 4, permitió que se pueda desarrollar el algoritmo de la Figura 5, haciendo más eficiente la interpretación de las coordenadas ID padre, así como, el ID hijo, en los diferentes nodos de la A a la F, según la Figura 6, dando como resultado la respuesta de la Figura 7.

El trabajo desarrollado para establecer dicha comprobación del grafo permitió establecer los ambientes de navegación virtuales en Gazebo a través de la técnica SLAM, para ello se desarrollaron simulaciones de cada uno de los nodos del diagrama de vértices de la Figura 7,

estos permitieron las diferentes simulaciones de los edificios del ITST, tal como se muestra en la Figura 8. Estas simulaciones arrojaron los resultados de la Figura 12 con Rviz.

CONCLUSIONES

En la actualidad, se han presentados un gran número de avances dentro de la robótica, de tal forma que el término que esta tenía en sus inicios se ha ido modificando y ampliando con el paso de los años, el uso y aplicación de la robótica se encuentra dentro de muchos ámbitos importantes dentro de la sociedad y no solo dentro de la industria como en sus inicios lo era.

Es por lo que, la solución de problemas con ayuda de la robótica contribuye de manera general al desarrollo tecnológico dentro de la sociedad.

Haciendo posible la realización del sistema de navegación, para el cual fue necesario del uso e implementación de la teoría de grafos, la cual contribuye de manera importante a la toma decisiones y desplazamiento de la plataforma WicBot propuesta para al desplazamiento dentro del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, de tal forma que la generación de trayectorias resulta efectiva, esto se logra gracias a su sistema de seguimiento de puntos los cuales brinda un mejor desplazamiento sobre superficies planas y en el uso de rampas.

La detención de obstáculos, así como la correcta ubicación del dispositivo en cada momento fue dividida en dos partes importantes, en primer lugar, se realiza el análisis de ubicación inicial y final, para lo cual se utiliza el mapa estático resultante del mapeo inicial de áreas, en el cual se determinan los principales puntos a seguir que conforman a la trayectoria a seguir para llegar al punto deseado, aunado a esto se realiza la detención de obstáculos que pudieran llegar a presentarse a la hora que se realiza el desplazamiento, tal y como lo son las personas que caminan sobre los pasillos y lugares en los cuales se desplaza el dispositivo, creando de esta manera un mapa dinámico en tiempo real que busca esquivar a todos ellos sin perder en cuenta el su objetivo final.

El grafo del entorno realizado inicialmente fue elaborado de manera general en donde se consideraron las principales áreas a las que los estudiantes tienden a desplazarse dentro del instituto, tales como lo son, los edificios, cafetería, comedor, baño, etc.; sin embargo, el diseño del grafo puede elaborarse tan grande como se desee, de tal manera que se sea posible desplazarse a lugares más específicos dentro del ITST, tal y como lo son salones de clase o ubicaciones exactas dentro del mapa estático.

La aportación de los alumnos tesistas, quienes aportaron su esfuerzo y la aplicación de conocimiento permitió el desarrollo de las simulaciones, las cuales permitirán un avance significativo en el objetivo mas importante, el poder ofrecer a personas con capacidades diferentes un mejor bienestar y desarrollo humano, y con el reconocimiento de los alumnos y la gran satisfacción de haber logrado el grado de Ingeniero en Mecatrónica.

BIBLIOGRAFÍA

Castro, M., Carmona, G., Herrera, I., Marín, A., Ríos, H. y Rechy, E. (2019). *An Approach based on a Robotics Operation System for the Implementation of Integrated Intelligent House Services System*. International Conference on Electronics, Communications and

- Computers (CONIELECOMP), pp. 182-186.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8673166>
- Hernández, D., Eguibar, J., Cortés, C., y Reyes, J. (2017). Diseño, construcción y modelo dinámico de un robot móvil de tracción diferencial aplicado al seguimiento de trayectorias. XXIII Congreso internacional anual de la SOMIM. Cuernavaca, Morelos.
http://somim.org.mx/memorias/memorias2017/articulos/A3_189.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019). *Estadísticas a propósito del día internacional de las personas con discapacidad*.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2019/Discapacidad2019_Nal.pdf
- Márquez, C., Silva, R., Marcelino, M., Antonio, M., Sosa, C. y García, J. (2014). Robots móviles de ruedas: generalidades. *Boletín UPIITA-IPN*, núm. 45.
<http://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php/ciencia/593-cyt-numero-45/1081-robots-moviles-de-ruedas-generalidades>
- Martínez, L., Pérez, A., Roa, A. y Marín, A. (2020). Desarrollo de una plataforma para movilidad autónoma de estudiantes con capacidades diferentes. *Revista ANFEI Digital*, 8 (12). <https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/691/1332>
- Ollero, A. (2001). *Robotica manipuladores y robots moviles*. Marcombo Boixareu editores
- Organizacion Mundial de la Salud (2020). *Homepage OMS*.
https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/es/
- Roa, A., Marín, A., Hernández, U., Ayala, V. y Roa, K. (2018). *Realistic and Automatic Map Generator for Mobile Robots*. International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE). pp. 50-55.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8743134>
- Robot Operating System (2020). *Ubuntu install of ROS Melodic*.
<http://wiki.ros.org/melodic/Installation/Ubuntu>