

**Título del Proyecto
de Investigación a que corresponde el Reporte Técnico:**

**Diseño de Plataforma Omnidireccional
4W4D de Suspensiones Activas**

Tipo de financiamiento

Sin financiamiento

Autores del reporte técnico:

Edgar Alonso Martínez García
Aarón Madrid Arras (tesista pregrado)

Diseño de Plataforma Omnidireccional 4W4D de Suspensiones Activas

Coordinación General de Investigación y Posgrado UACJ-Investigación

Resumen del reporte técnico en español (máximo 250 palabras)

En el presente artículo se habla de la propuesta del diseño de una plataforma robótica holonómica 4W4D con capacidad de desplazamiento en todo terreno gracias a la implementación de una suspensión activa, y de los modelados matemáticos que se aplican a dicha plataforma. Esta plataforma tiene el fin de ayudar a personas con discapacidad a desplazarse por espacios reducidos y ayudarles a tomar objetos que se encuentren fuera de su alcance.

Resumen del reporte técnico en inglés (máximo 250 palabras):

This article talks about the proposal for the design of a holonomic 4W4D robotic platform with all-terrain displacement capacity thanks to the implementation of an active suspension, and the mathematical modeling that is applied to said platform. This platform is intended to help people with disabilities navigate tight spaces and to help them grab objects that are out of reach.

Palabras clave: robot móvil, omnidireccional, 4W4D

Usuarios potenciales (del proyecto de investigación)

Laboratorio de Robotica, IIT

Reconocimientos

Al alumno de Mecatrónica Aarón Madrid Arras por el desarrollo del proyecto, y los miembros del Laboratorio de Robótica que se involucraron parcialmente con algún tópico de este proyecto.

Productos generados

Video academico en la plataforma Youtube

4W4D omnidirectional vehicle with active suspensions

<https://www.youtube.com/watch?v=O7ZDJ8zLXjs>

RT-LR-08-20

Diseño de Plataforma Omnidireccional 4W4D de Suspensiones Activas

Aarón Madrid Arras (L4)

Asesor: Edgar A. Martínez García

LABORATORIO DE ROBÓTICA

INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Resumen

En el presente artículo se habla de la propuesta del diseño de una plataforma robótica holonómica 4W4D con capacidad de desplazamiento en todo terreno gracias a la implementación de una suspensión activa, y de los modelados matemáticos que se aplican a dicha plataforma. Esta plataforma tiene el fin de ayudar a personas con discapacidad a desplazarse por espacios reducidos y ayudarles a tomar objetos que se encuentren fuera de su alcance.

que los hace extremadamente útiles en espacios reducidos, como lo son hospitales, almacenes, casas residenciales o para personas con discapacidad [5].

Por años, se han estudiado múltiples configuraciones de plataformas omnidireccionales, en la figura 1 se puede apreciar un ejemplo de un tipo de robot holonómico con tres ruedas de tipo mecanum, que actualmente es de las configuraciones más populares que existen, sin embargo, hay gran variedad de ellas y cada una con sus ventajas y desventajas.

1. Introducción

En los tiempos actuales, el uso de robots en diversas industrias ha comenzado a ganar tracción e importancia, e incluso se utilizan de forma amplia para tareas de vigilancia, inspección y de transporte [2]. Las plataformas de este tipo son capaces, cinemáticamente, de moverse en cualquier dirección sin importar la posición inicial [1]. Esto se debe a que estas plataformas robóticas pueden lograr 3 grados de libertad en un plano de dos dimensiones [4]. Esto permite que el robot cuente con una gran maniobrabilidad, y comparados con plataformas no holonómicas, éstas pueden lograr movimientos de translación y rotación al mismo tiempo y de forma independiente, lo

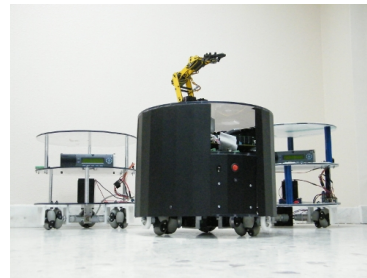


Figura 1: Aspecto de una plataforma omnidireccional.

Además de la configuración de las ruedas, el diseño de

este tipo de plataformas también considera el tipo de ruedas que se utilizan. Existen una gran cantidad de ellas, entre éstas están las de tipo mecanum, rueda suiza, alternante, de tipo bola, entre otras [5]. Para este trabajo se trabajará con llantas tipo mecanum, ya que cuentan con gran versatilidad y permiten que el robot pueda trasladarse y rotar de manera eficiente.

Si bien estas plataformas tienen ventajas sobre otras topologías de robots rodantes, existe una problemática con este tipo de diseño y es que por lo general las plataformas omnidireccionales funcionan bien en un plano estructurado y empiezan a tener complicaciones en suelos irregulares, por lo que crea una limitante para este tipo de plataformas a solo ciertas aplicaciones.

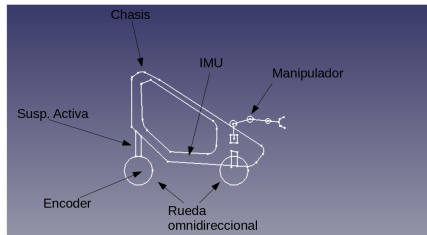


Figura 2: Esquema de las partes del robot propuesto.

Lo que se busca realizar para este trabajo es crear el diseño de una plataforma omnidireccional 4W4D con la capacidad de desplazarse en un terreno no estructurado por medio de la implementación de suspensiones activas. Esto con la finalidad de darle una aplicación en el campo de asistencia médica para que personas con discapacidad puedan tener una gran maniobrabilidad y movilidad al emplear este tipo de robot en espacios reducidos y abiertos. Además, se planea utilizar una variedad de sensores que al fusionar los datos provenientes de estos van a permitir darle información al robot de su posición en cada momento y de lo que está sucediendo en su entorno. Sumado a esto, se planea implementar un manipulador para brindarle mayor asistencia al usuario de esta plataforma a la hora de alcanzar objetos fuera de su alcance.

La figura 2 muestra un esquema de una propuesta del robot en 2D que se planea realizar, en donde se presentan las partes más importantes que se encuentran en este diseño. Como se puede observar, el robot se compondría por un chasis o cabina en donde iría el usuario, ésta funcionaría como la base del robot y a ella irían los otros componentes como lo son las cuatro ruedas omnidireccionales y que más adelante se presenta la configuración

de ellas, el manipulador el cuál iría en la parte frontal del robot, alguno de los sensores que se planean utilizar como lo son los encoders y una unidad de medición inercial, y por último el sistema de suspensión activa que permitiría ajustar la altura de la plataforma de acuerdo al terreno en que este se encuentre.

El contenido de este reporte se va a describir en varias secciones, la primera, el modelado cinemático omnidireccional 4W4D, se va a proponer el modelado de la plataforma con el uso de la cinemática directa para lograr un movimiento del robot de una forma deseada. Posteriormente, en la sección Control de navegación, se va a utilizar la cinemática inversa para determinar las velocidades necesarias para llegar a una ubicación. Después de esta sección, sigue la sección de modelado de la cadena cinemática de un manipulador, en donde se presenta una propuesta para la construcción de este y las ecuaciones que rigen su movimiento, así como su jacobiano. La sección siguiente a esta es la de fusión sensorial, en la cual se describe como se realiza la fusión de los datos de los sensores para obtener información útil para controlar al robot. Al final, se presenta la sección de control de posicionamiento, la cual habla sobre los mecanismos y ecuaciones de la suspensión activa.

2. Modelado cinemático omnidireccional 4W4D

A continuación se presenta el modelo cinemático de la plataforma propuesta que describe sus restricciones de movimiento y se muestra la configuración planteada para este diseño. El objetivo de esta sección es describir el modelo matemático empleado para determinar la movilidad del robot y así poder controlarlo para que vaya a la posición deseada.

En la figura 3 se puede apreciar la configuración de las ruedas propuesta para esta plataforma, con un ángulo de separación simétrico ϕ con valor de 135 grados entre ruedas y una distancia l del centro de giro a las ruedas que no está definida. También se puede apreciar como cada rueda gira en su propia dirección por lo que cada una de ellas tiene una velocidad diferente. Este esquema es importante de tener en cuenta ya que este nos va a permitir realizar la propuesta del modelo cinemático que va regir al robot y va a permitir lograr un control efectivo de la plataforma, el cual se busca que sea muy preciso ya que se va a emplear en tareas de asistencia médica.

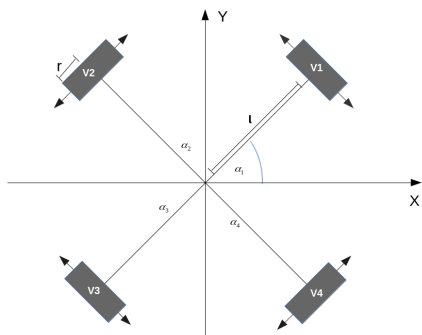


Figura 3: Esquema de las posiciones de las ruedas del robot.

Debido a los grados de libertad que se tiene en este tipo de plataformas, se puede plantear que el vector de control sea $\dot{\mathbf{u}} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{w} \end{pmatrix}$ en donde x y y se definen en las ecuaciones 1 y (3) respectivamente. Estas componentes determinan el movimiento globalizado del robot, y se contribuye por cada una de las velocidades de las ruedas. Por la forma en que se tiene el esquema de las ruedas, la posición x del robot se determina por el coseno de la diferencia del ϕ de la rueda y $\frac{\pi}{2}$ por la rotación que tiene la llanta y multiplicándolo por la velocidad de respectiva rueda.

$$\dot{x} = V_1 \cos(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + V_2 \cos(\alpha_2 - \frac{\pi}{2}) + V_3 \cos(\alpha_3 - \frac{\pi}{2}) + V_4 \cos(\alpha_4 - \frac{\pi}{2}) \quad (1)$$

En el caso de la posición y , se determina con el seno de la diferencia del ángulo de ϕ de la rueda y $\frac{\pi}{2}$ por la posición de la rueda. Al tener esto, se puede plantear que cualquier velocidad se puede expresar en termino angular como $V_i = r * \phi$, donde r es el radio de la rueda y ϕ es la velocidad angular de ésta. Cabe mencionar que en este caso, se agregó el movimiento del robot angular \dot{w} por lo que el vector de control quedaría de la siguiente manera:

$$\mathbf{u} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{w} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\dot{y} = V_1 \sin(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + V_2 \sin(\alpha_2 - \frac{\pi}{2}) + V_3 \sin(\alpha_3 - \frac{\pi}{2}) + V_4 \sin(\alpha_4 - \frac{\pi}{2}) \quad (3)$$

Con esto se puede plantear la ecuación en forma matricial, la cual se puede observar en la ecuación 4. Esta

ecuación está determinada por la multiplicación del radio de las ruedas por la matriz de control cinemático por las velocidades angulares de cada rueda.

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{w} \end{pmatrix} = r \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) & \dots & \cos(\alpha_4 - \frac{\pi}{2}) \\ \sin(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) & \dots & \sin(\alpha_4 - \frac{\pi}{2}) \\ 1/l & \dots & 1/l \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \\ \dot{\phi}_4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Esta matriz se puede sustituir de la forma en que se observa en la ecuación 5, en donde el vector \mathbf{u} es la posición global del robot, r es el radio de las ruedas, \mathbf{K} es la matriz de control cinemático y el vector $\dot{\phi}$ son las velocidades angulares de las ruedas. Con esto se puede obtener la posición global y el ángulo de giro del robot de acuerdo a una entrada de las velocidades angulares de las ruedas. Esto resulta muy útil a la hora de poder hacer control de la plataforma, sin embargo, en la siguiente sección se realiza un ligero cambio para lograr el control de la plataforma.

$$\dot{\mathbf{u}} = r\mathbf{K}\dot{\phi} \quad (5)$$

3. Control de navegación

Ya con la ecuación 5 establecida, se puede determinar la solución inversa al despejar la velocidad angular, resultando en la ecuación 6, la cuál calcula las velocidades angulares necesarias para llegar a una posición en específico. Sin embargo, hay que considerar que la matriz de control cinemático no es cuadrada por lo que se tiene que hacer una pseudoinversa.

$$\dot{\phi} = \frac{1}{r}(\mathbf{K})^+ \dot{\mathbf{u}} \quad (6)$$

Posteriormente, se deriva la ecuación anterior para obtener el modelo presentado en la ecuación 7, el cual es un controlador recursivo para el control del movimiento del robot, que se define por la predicción de la velocidad angular ϕ_{t+1} es igual a la suma de la velocidad angular actual ϕ_t más el producto de la pseudoinversa de la matriz cinemática por la inversa del radio de la rueda por la diferencia del vector de referencia \mathbf{u} y el vector de observación \mathbf{u}_t , esto se puede apreciar en la ecuación.

$$\phi_{t+1} = \phi_t + \frac{1}{r}(\mathbf{K})^+ (\mathbf{u}^{ref} - \mathbf{u}_t) \quad (7)$$

Después se plantea la siguiente ecuación del controlador recursivo la cuál se puede observar en la ecuación

8, en dónde el vector de predicción ϕ_{t+1} se obtiene de la ecuación anteriormente descrita.

$$\mathbf{u}_{t+1} = \mathbf{u} + rK \cdot (\phi_{t+1} - \phi_t) \quad (8)$$

Esto se hace de manera recursiva hasta que el robot llegue a la posición de referencia, es decir, a la meta que se definió por el programador o usuario. Para que esta condición se cumpla, el valor del vector \mathbf{u} se iguala al vector calculado \mathbf{u}_{t+1} . Hay que considerar que dentro de estas ecuaciones se puede utilizar un factor de desempeño λ para así determinar que tan preciso se llega a la meta, y en dónde $0 < \lambda < 1$, el cual se multiplica por el vector ϕ_t y el vector \mathbf{u} , resultando en las ecuaciones de a continuación:

$$\phi_{t+1} = \phi_t + \frac{1}{r}(K)^+ (\mathbf{u}^{ref} - \lambda_1 \mathbf{u}_t) \quad (9)$$

$$\mathbf{u}_{t+1} = \mathbf{u} + rK \cdot (\phi_{t+1} - \lambda_2 \phi_t) \quad (10)$$

Con estas ecuaciones establecidas, se realizó la comprobación de su funcionamiento por medio de la graficación, la figura 4 representa el comportamiento del control recursivo anterior graficada en Gnuplot. Se puede apreciar en esta gráfica que el robot se desplazó de su posición inicial (0,0) a la posición de referencia, que en este caso es el punto (10,10) en varias iteraciones, y se puede observar que entre más cerca estaba del punto de destino, más pequeños iban siendo los avances hasta quedar detenida por completo. Estos avances son los que se pueden modificar dependiendo del valor del factor de desempeño λ .

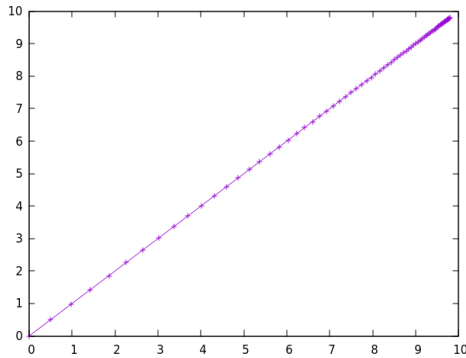


Figura 4: Gráfica obtenida del control recursivo propuesto en esta sección.

Posteriormente a estas gráficas, se realizó un simulador para comprobar de manera visual el comportamiento

de este control de navegación de la plataforma omnidireccional 4W4D. Para esto, se realizó un simulador en C++ con la ayuda de librerías de SFML para darle la parte visual, y se codificó el control de navegación en C++. Se puede apreciar en la figura 5 la ventana del simulador, en el cuál se ve la plataforma en el punto de inicio (0,0) y varios puntos rojos en el espacio. Se realizaron dos experimentos, el primero siendo la trayectoria a un solo punto y el segundo la trayectoria a varios puntos. Como se comprobó en la gráfica anterior, el robot se desplazó correctamente a los puntos de destino en línea recta como se esperaba ya que estas plataformas cuentan con estas ventajas de moverse a cualquier punto en el espacio.

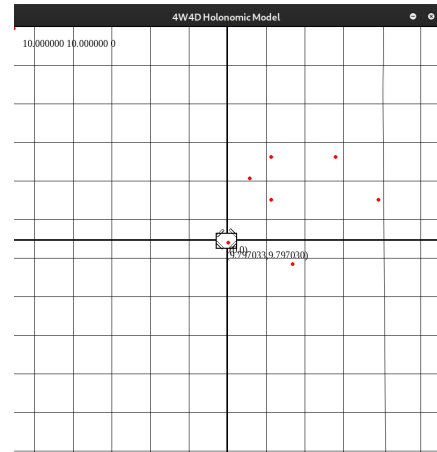


Figura 5: Simulación del control de posicionamiento de un modelo 4w4d.

En la figura 6 se puede apreciar la trayectoria generada para el experimento de múltiples metas mencionado anteriormente. Se puede observar que sin importar la ubicación del robot, este se desplazó sin problemas siempre al siguiente punto en línea recta, el cuál es el resultado esperado y se hace la comprobación de que el modelo de control está correcto, por lo que el movimiendo del robot ha quedado definido.

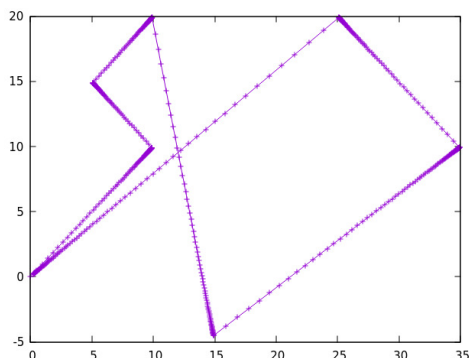


Figura 6: Gráfica de múltiples metas.

4. Modelado de la cadena cinemática de un manipulador

Un sistema que es muy importante para el diseño de esta plataforma es el del manipulador, el cual permite alcanzar objetos fuera del alcance del usuario y que se encuentra posicionado en la parte frontal del robot. No obstante, aún no se cuenta con un diseño en específico, por lo que para este reporte solo se planteará un mecanismo potencial que pueda servir para esta función. Además, en esta sección se propondrá el modelo matemático que establezca el rango de movimiento de este en un espacio de trabajo.

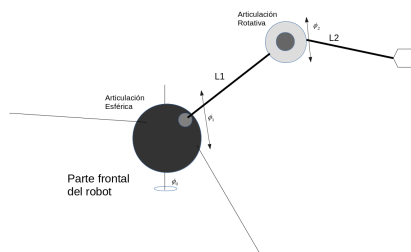


Figura 7: Esquema del brazo mecánico para la plataforma omnidireccional.

Como se observa en la figura 7, se tiene un brazo sencillo pero funcional que tiene gran rango de movimiento gracias a las dos articulaciones con las que cuenta, las cuales son una articulación esférica que simula el movimiento de un hombro, y una articulación rotativa para

simular un codo. Como complemento, se podría agregar una articulación en la muñeca en caso de que sea necesario.

Ya con la propuesta de diseño de brazo mecánico, se puede realizar el modelado de la cinemática directa de la extremidad. Las ecuaciones siguientes representan el movimiento del brazo en un espacio tridimensional.

$$X = l_1 \sin(\phi_0) \cos(\phi_1) + l_2 \sin(\phi_0) \cos(\phi_1 + \phi_2) \quad (11)$$

$$Y = l_1 \sin(\phi_1) + l_2 \sin(\phi_1 + \phi_2) \quad (12)$$

$$Z = l_1 \cos(\phi_0) \cos(\phi_1) + l_2 \cos(\phi_0) \cos(\phi_1 + \phi_2) \quad (13)$$

Con estas ecuaciones establecidas, se puede deducir la forma matricial de dichas ecuaciones y la cuál se puede observar en la ecuación 14 que se define como las posiciones del manipulador en un espacio tridimensional es igual al producto de una matriz donde están los ángulos por las distancias l .

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin(\phi_0) \cos(\phi_1) & \sin(\phi_0) \cos(\phi_1 + \phi_2) \\ \sin(\phi_1) & \sin(\phi_1 + \phi_2) \\ \cos(\phi_0) \cos(\phi_1) & \cos(\phi_0) \cos(\phi_1 + \phi_2) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \end{pmatrix} \quad (14)$$

Con esto establecido, faltaría por realizar los mecanismos que harían posible el movimiento del brazo y las ecuaciones que rigen a estos para mover la extremidad de manera correcta. Lo más probable es que el diseño de esta extremidad sea de tipo subactuada, por lo que se emplearían mecanismos sencillos como lo son engranes, levas, entre otros. Una vez que se cuente con un diseño mecánico definido completamente, procedería a realizar una simulación para la comprobación del movimiento correcto del brazo.

5. Fusión sensorial

Terminado el modelado del manipulador del robot, sigue describir un parte fundamental para que el robot pueda moverse por su entorno sin problema alguno evitando obstáculos, evitando peligros para el usuario y realizando un correcta trayectoria al punto destino. En esta sección se presenta una lista de los sensores que se planea utilizar en la plataforma así como una breve justificación de su uso, además de un modelo de ecuaciones

integro-diferenciales que realizan la fusión de datos de varios sensores para obtener información útil al sistema.

En la tabla de a continuación se muestra una lista de los sensores que hasta ahorita se han planteado utilizar para que la plataforma funcione correctamente. El primero tipo de sensor de la lista es el encoder, el cuál se utilizaría uno por rueda resultando en un total de 4 encoders que nos ayuden a inferir la posición y velocidad de la plataforma robótica. Después, se tienen los sensores de magnetómetro, un giroscopio y un acelerómetro que al igual que los encoders, nos va a proporcionar información de posición, aceleración e incluso de orientación del robot. Es importante señalar que estos sensores vienen incluidos en una IMU, de la cual se hablará más adelante. Por último, se planea utilizar un GPS para saber la localización del robot en cada momento y brindar mayor precisión a la hora de llegar a la meta.

Tipo	Cantidad	Unidad física
Encoder	4	Adimensional
Magnetómetro	1	rads
Giroscopio	1	Rad/seg
Acelerómetro	1	Rad/seg
GPS	1	m/s

Los datos de la IMU son de suma importancia ya que nos brinda demasiados datos que ayudan con la movilidad del robot. En la figura 8 se puede observar una gráfica que contiene los múltiples datos que la IMU proporciona en un instante de tiempo.

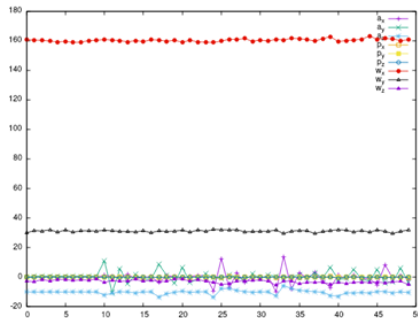


Figura 8: Apariencia de una IMU con acelerómetro, magnetómetro y giroscopio.

Con esto aclarado, lo siguiente a realizar es hacer una simple fusión de datos de diferentes sensores, en este caso la fusión de datos es de los encoders y el acelerómetro, para obtener de ellos la velocidad del robot. Sin embargo, no se puede proceder de forma directa, por lo que se de-

ben de ajustar los datos de cada sensor por medio del uso de derivadas o integrales según sea el caso. En la figura 9 se puede observar una ilustración de como se lleva a cabo la fusión, primero se realiza la suma de los datos de los encoders, después estos datos se derivan para obtener la velocidad y se suman a los datos del acelerómetro, los cuales se integran para que los datos sean compatibles, y como resultado se obtiene datos en forma de velocidad con unidad física de m/s.

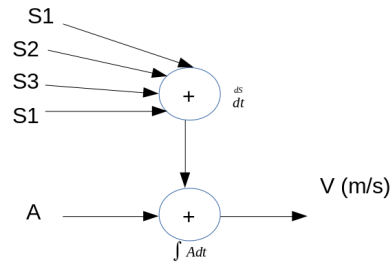


Figura 9: Ilustración de la fusión de datos de los encoders y el acelerómetro

Sin embargo, primero se debe realizar una ligera modificación a los datos de los encoders, ya que estos dan datos sin unidades físicas porque son adimensionales, por lo que hay que pasarlos a metros con ayuda de la ecuación 15, en donde R es la resolución del encoder, r es el radio y η es el número de pulsos por segundo.

$$S = \frac{2\pi}{R} r(\eta) \quad (15)$$

Una vez hecho esto, se procede con la fusión sensorial, la cuál se describe con la ecuación 16.

$$V = \left(\frac{d}{dt} \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + S_4)}{4} \right) + \int A dt \frac{1}{2} \quad (16)$$

No obstante, esto es una simple fusión sensorial de unos cuantos sensores del robot y no de todos, por lo que para esta sección aún falta trabajar en el modelo que haga la fusión de la mayor cantidad de sensores y se tenga mejor calidad de información para realizar el control de la plataforma.

6. Control de posicionamiento

Por último, se presenta la sección en la que se establece el funcionamiento de la suspensión activa. En esta

sección se presentan algunos esquemas de cómo se vería la suspensión activa y algunas propuestas de mecanismos que se podrían utilizar para lograr el correcto funcionamiento de este sistema.

En la figura 10 se tiene una propuesta de como se vería el sistema la suspensión activa con todos los actuadores en la misma posición. En esta imagen solo se muestra la conexión de los pistones de la suspensión activa a las bases de las ruedas y sujetas a lo que sería el chasis del robot. Para este caso, la suspensión se encuentra en una sola posición, simulando que se encuentra en una superficie estructurada.

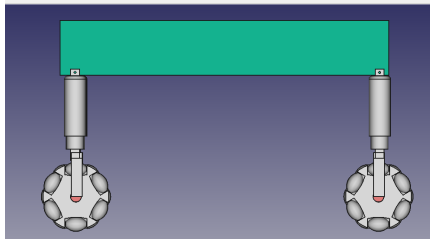


Figura 10: Propuesta de sistema de suspensión activa para permitirle al robot desplazarse por todoterreno.

En la siguiente figura, se tiene la situación en la que el robot no estuviera en una superficie estructurada y la suspensión activa compensara esto al activar los actuadores frontales y los extendiera de forma que el robot pudiera desplazarse sin ningún problema.

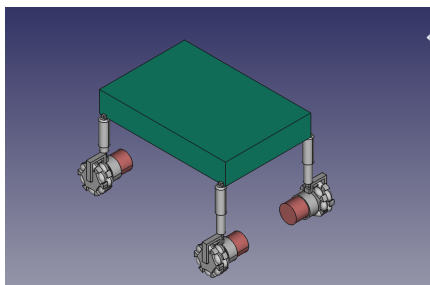


Figura 11: Sistema de suspensión activa con diferentes posiciones

Lo que toca seguir trabajando para esta sección es el diseño del mecanismo que realizaría esto, ya que se puede lograr por medio de un mecanismo puramente mecánico

con el empleo de un engranaje de gusano, o de un sistema hidráulico. Pero por el momento, no se cuenta con un diseño de este mecanismo.

7. Resultados

Por medio de este trabajo se obtuvo una visión clara de que es lo que se quiere lograr y en qué áreas hay que enfocarse para lograr el objetivo de diseñar una plataforma robótica exitosa. No se logró plantear concretamente todo el modelado matemático y el diseño de algunos elementos claves del robot como lo son las extremidades mecánicas o la cabina en la que iría la persona. Sin embargo, se obtuvo un avance importante.

8. Conclusiones

Si bien aún faltan mucho desarrollo de cada tema en la investigación, se tiene un camino claro por el que seguir para cumplir con el objetivo de desarrollar una plataforma robótica omnidireccional 4W4D que sea capaz de desplazarse por lugares en donde el suelo no sea parejo y permitiéndole a las personas con discapacidad una mayor movilidad y facilidad de alcanzar objetos.

Referencias

- [1] Udengaard, M. Y Iagnemma, K. (2009). Analysis, Design, and Control of an Omnidirectional Mobile Robot in Rough Terrain. *Journal of Mechanical Design*, Vol. 131, 121002-1, 121002-2.
- [2] Dorftei, I. Grosu, V. Y Spinu, V. (2007). Omnidirectional Mobile Robot – Design and Implementation. *Bioinspiration and Robotics: Walking and Climbing Robots*. pg. 511-528.
- [3] Costa, P. Moreira, N. Campos, D. Goncalves, J. Lima, J. Costa, P. (2016). Localization and Navigation of an Omnidirectional Mobile Robot: The Robot@Factory Case Study. *Revista Iberoamericana de tecnologías del aprendizaje*, VOL. 11, NO. 1
- [4] Lins, J. Scolari, A. Dorea, C. Martinez, L. Y De Pieri, E. (2014). Design and Implementation of Model-Predictive Control With Friction Compensation on an Omnidirectional Mobile Robot. *IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONIC*, VOL. 19, NO. 2.

- [5] Shugen Ma, Chao Ren and Changlong Ye. (2012). An Omnidirectional Mobile Robot: Concept and Analysis. International Conference on Robotics and Biomimetics. pg. 920-925.
- [6] Watanabe, K. (1998) Control of an Omnidirectional Mobile Robot. Second International Conferem on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems. pg. 51-60



Aarón Madrid Arras: Estudiante de Ingeniería mecatrónica en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 10mo semestre.