Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica
IE-0117 Programación bajo plataformas abiertas
I ciclo 2016

Proyecto 1

Simulación de un robot mecanum y diferencial que utiliza motores DC

Jose Alberto Barantes Abellán, B50881
Alejandro Cedeño Uribe, B41672
Aarón Sibaja Villalobos, B56891
Andrés Vargas Salguero, B06670
Profesor: Federico Ruiz Ugalde

8 de mayo del 2016

Índice

Índice de figuras

1. Descripción:

El presente proyecto consistirá en la construcción y programación de un software de simulación que será capaz de presentar el comportamiento de un robot diferencial o mecanum que utilice motores en DC.

Nota: este motor DC debe integrar un sensor de movimiento o hull simulado, un engranaje y un contador (click).

2. Objetivo General:

Crear un software o sistema de simulación integrado que sea capaz de describir la cinemática de un robot diferencial o mecanum que utiliza motores en DC.

3. Objetivos específicos:

- Seleccionar y derivar las ecuaciones matemáticas que representen un motor DC, un carro con ruedas mecanum y un carro con ruedas diferenciales.
- Implementar dichos modelos, en programas y módulos separados.
- Crear programas de prueba para conectarnos con los simuladores y corroborar su funcionamiento correcto y realista.
- Integrar los tres simuladores en un solo programa o sistema conjunto que permita la simulación completa
- Implementar programa estudio que inyecte datos de prueba y muestre gráficamente los resultados

4. Justificación :

Se quiere brindar un acercamiento al funcionamiento de estas tres cosas y por eso una simulación es una herramienta importante para lograrlo. Los resultados de las simulaciones van a permitir un entendimiento mucho más claro y conciso al respecto.

Un programa como el que se pretende crear, proporcionará un sistema ejecutable y accesible en cualquier momento que se necesite, así sea para pruebas de sistemas autómatas que aprovechen estos mecanismos, como para mediciones de datos de los mismos.

La idea de que se dé una buena simulación, con datos que describen el comportamiento esperado de los robots, radica en que se pueda ayudar a futuros proyectos en robótica como por ejemplo la creación de prototipos móviles.

Cabe recalcar, que en la realidad, un robot puede que no describa exactamente lo que la simulación mostraba. Es por eso, que en la ingeniería y la robótica, contar con un software que se esté ejecutando en segundo plano, permitirá detectar situaciones no previstas y analizarlas luego.

5. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se va a dividir el trabajo en dos partes principales, designando a dos integrantes por cada una. Aprovechando que la parte de los robots mecanum y diferencial presentan algunas similitudes en su realización, estas se desarrollaran de forma paralela. Se pretende crear un algoritmo que integre de manera conjunta ambos métodos de manejo, donde sea posible cambiar las ecuaciones que describen el movimiento de ambas según se necesita.

Por otro lado, el desarrollo del motor DC se hará con dos estudiantes los cuales se dividirán la carga de trabajo la cual se puede polarizar de varias maneras entre cuales está investigar la fórmulas necesarias mientras la otra persona puede ir planteando el código de manera tal que se puedan agregar sobre este las fórmulas necesarias. Otra forma es la realización del código base con sus fórmulas mientras el otro busca la manera de juntar los resultados con el programa de graficación (elegido o desarrollado).

Es posible dividir la totalidad del proyecto en módulos diferentes para una repartición de tareas justa. La idea general de estas asignaciones es dividir la carga de forma equitativa con el objetivo de que al final el proyecto logre realizarse de forma ordenada, evitando problemas de alguna sobrecarga sobre algún integrante lo cual puede llevar a mayores consecuencias en el orden del proyecto.

6. Marco Teórico

6.1. Motor eléctrico de imanes permanentes en DC

6.1.1. Principios de operación

Un motor en DC básicamente convierte la energía eléctrica en energía mecánica mediante la interacción de dos campos magnéticos. Uno de estos campos es producido por un

ensamblado fijo de imanes y el otro por la corriente eléctrica que pasa por las espiras de las bobinas del motor. El resultado de la interacción de ambos campos es un torque que hace que el rotor gire; y cuando esto sucede el conmutador rota con la armazón de bobinas.

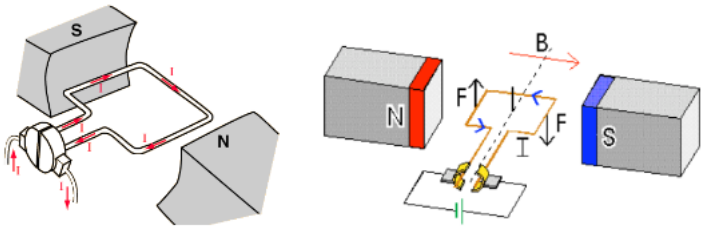


Figura 1: Motor eléctrico DC de imanes permanentes.

Este conmutador está compuesto por segmentos conductores, usualmente de cobre, y por las escobillas. Los segmentos conductores o barras representan las terminaciones o terminales de las espiras que fueron distribuidas por toda la armazón. Se debe realizar una conexión de la parte fija del motor con las bobinas y para esto se fijan dos anillos aislados de la electricidad del eje de giro que se conectan a las terminales del conmutador. Se utilizan unos bloques de carbón (escobillas), que mediante un resorte añadido, hacen una presión sobre las terminaciones de las espiras para así establecer el contacto eléctrico necesario. La fricción que genera este roce, hace que las escobillas se desgasten con el paso del tiempo y tengan que ser reemplazadas.

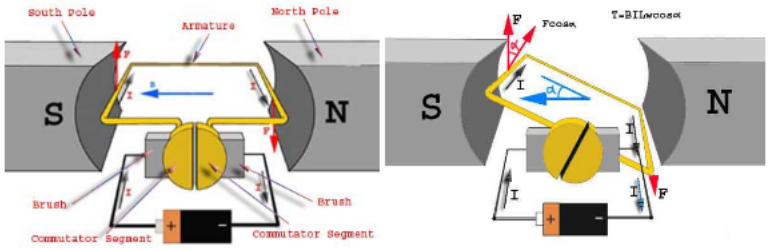


Figura 2: Componentes y operación de un motor DC de imanes permanentes.

Mientras la corriente eléctrica pasa por las escobillas del conmutador y consecuentemente por las bobinas en la armazón se genera una torsión que es generada como una reacción entre el campo estacionario y el campo generado por corriente en las bobinas. Como consecuencia toda la armazón gira. El movimiento uniforme del rotor se consigue mediante un proceso llamado conmutación, cambiando la corriente entre las bobinas del motor. El conmutador funciona como un interruptor mecánico que se encarga de revertir la corriente cada media revolución de tal manera que el torque siga girando el rotor en la misma dirección.

Los motores con imanes fijos tienen ciertas ventajas con respecto a otros. Por ejemplo, son típicamente más pequeños y livianos; son escogidos habitualmente ya que si se les compara con otro tipo de motor y considerando que la razón de energía producida con respecto a su tamaño es mucho mayor. Además, al ser el campo de imán constante, la relación entre el torque y la velocidad tiende a ser lineal. Son capaces de producir un torque alto a una velocidad relativamente baja y dejan de funcionar en el momento en que la fuente del motor se apaga.

6.1.2. Ecuaciones que modelan su funcionamiento

La fuerza electromagnética o tensión eléctrica que se induce en una máquina real es:

$$E_a = \frac{ZvBl}{a}$$

donde Z es el número total de conductores y a el número de caminos de corriente. Se expresa la velocidad de cada conductor del rotor como $v = r\omega_m$, con r el radio correspondiente al rotor. Por lo tanto:

$$E_a = \frac{Zr\omega_m Bl}{a}(1)$$

Se describe un flujo magnético que corresponde a la intensidad del campo o densidad de flujo multiplicado por el área del polo $\phi = BA_p$. Al ser el rotor de forma cilíndrica y al tener P polos $A_p = \frac{2\pi rl}{P}$

El flujo por polo total en el motor es:

$$\phi = \frac{B(2\pi rl)}{P}$$

pero se está considerando el ***flujo total*** en el motor, por lo tanto la ecuación que se modelo para el simulador fue:

$$\phi = B(2\pi rl)$$

Nota: el número P de polos se sigue tomando en cuenta en la constante de motor.

Desarrollando la ecuación *(1)* se logra obtener:

$$E_a = \frac{ZP}{2\pi a}\phi\omega_m$$

Finalmente se define K, o constante de motor como:

$$K = \frac{ZP}{2\pi a} \Rightarrow E_a = K\phi\omega_m$$

6.2. Carro Mecanum

Los sistemas omni-direccionales funcionan cuando se aplican fuerzas de rotación en cada una de sus ruedas mediante el uso de motores independientes, esto le permite moverse libremente en diferentes direcciones. En el caso de las ruedas mecanum, estas funcionan de manera independiente y cuentan con rodines de movilidad propia. Estos se encuentran a 45 °grados con respecto al centro de la circunferencia, manteniendo un perfil circular en la rueda.

El carro mecanum se construye colocando cuatro ruedas en una base rectangular. El movimiento del carro va a depender del radio de la ruedas, además del largo y ancho de la base rectangular.

Para generar las ecuaciones se debe establecer una relación entre la velocidad angular de las ruedas y la velocidad en el centro de masa. Se debe colocar el eje de rotación en el centro de robot, siendo el eje x el largo y el eje y el ancho.

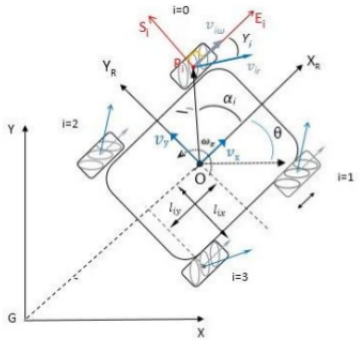


Figura 3: Configuración de las ruedas del robot mecanum desde su centro.

Se definen cuatro ecuaciones que modelan el movimiento de cada rueda:

$$\omega_1 = \frac{1}{r}[V_x - V_y - (l_x + l_y)\ \omega]$$

$$\omega_2 = \frac{1}{r}[V_x + V_y + (l_x + l_y)\ \omega]$$

$$\omega_3 = \frac{1}{r}[V_x + V_y - (l_x + l_y)\ \omega]$$

$$\omega_4 = \frac{1}{r}[V_x - V_y + (l_x + l_y)\ \omega]$$

V_x: Velocidad longitudinal
V_y: Velocidad transversal
ω: velocidad tangencial del robot

ω_n: velocidad tangencial de cada rueda
l_x Largo del robot, desde su centro
l_y Ancho del robot desde su centro

Tomando de estas ecuaciones $l_x,\ l_y,\ r$ como constantes físicas, es posible despejar las demás variables. Obteniendo tres ecuaciones:

$$V_x(t) = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4)\ \frac{r}{4}$$

$$V_y(t) = (-\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_4)\ \frac{r}{4}$$

$$\omega(t) = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4)\ \frac{r}{4(l_x + l_y)}$$

Es posible calcular el ángulo del movimiento del carro con las componentes de la velocidad:

$$\theta = \arctan(\frac{V_y}{V_x})$$

Además es posible calcular la magnitud de la velocidad, al hacer la norma de las componentes:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

Se pueden tener ocho tipos de movimientos característicos, los cuales van a depender de la velocidad tangencial de cada rueda:

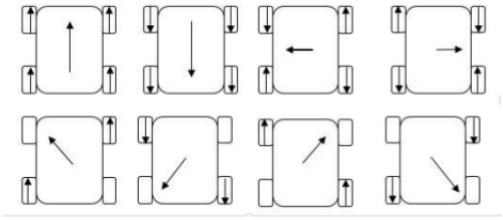


Figura 4: Movimientos de un robot mecanum.

6.3. Carro Diferencial

En la mecánica, el dispositivo conocido como Diferencial, es un mecanismo utilizado en vehículos con dos llantas para hacer un giro más eficiente, en otras palabras, acorta el recorrido que debe hacer el vehículo para doblar. Lo anterior lo logra el Diferencial haciendo

que la llanta interior vaya más lento que la llanta exterior, debido a que la llanta exterior debe recorrer más distancia respecto a la curva que la interior. El mecanismo en sí funciona como una caja de engranajes la cual cambia la cantidad de rotaciones del engranaje conectado a la llanta por cada vuelta del engranaje principal, esto para cada llanta. Por lo cual esto permite que las llantas vayan a velocidades independientes cuando se necesite.

Figura 5: Modelo 3D de un carro diferencial.

Ahora que se tiene claro como el diferencial logra que las llantas caminen a diferentes velocidades, se deben aclarar otros puntos clave para que el sistema funcione. Primero que todo, se necesita que el automóvil gire respecto a un punto específico, esto para que se pueda definir correctamente como el vehículo actúa en una curva. A este centro se le llama *Centro de Curvatura Instantáneo*(ICC en inglés).

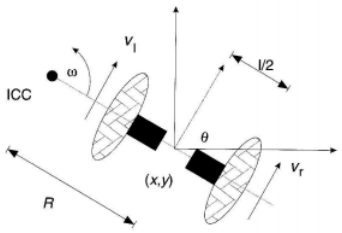


Figura 6: Gráfico de un robot de 2 ruedas girando sobre el ICC.

V_l: Velocidad de la rueda izquierda
V_r: Velocidad de la rueda derecha
l: Distancia entre las llantas
R: Distancia entre el centro del vehículo al ICC
ω: velocidad angular del vehículo

Ya se conoce que al variar las velocidades de las llantas el robot gira hacia la llanta con menor velocidad, y también que la velocidad angular respecto a el ICC debe ser la misma para ambas ruedas, con esto se pueden afirmar siguientes ecuaciones:

$$\omega(R + \frac{l}{2}) = V_r$$

$$\omega(R - \frac{l}{2}) = V_l$$

Por lo que R y la velocidad angular son respectivamente:

$$R = \frac{l}{2}\frac{V_l + V_r}{V_r - V_l}$$

$$\omega = \frac{V_r - V_l}{l}$$

De lo anterior se pueden concluir tres afirmaciones:

1. Si $V_r = V_l$ entonces el carro está recorriendo un camino en línea recta, y R es igual a infinito, y la velocidad angular es en efecto 0.

2. Si $V_l = -V_r$ entonces R = 0 , eso quiere decir que tenemos la rotación respecto al eje del vehículo.

3. Si $V_l = 0$ entonces tenemos rotación respecto a la rueda izquierda y R = l/2 , y lo mismo pero en dirección contraria si es $V_r = 0$.

Ahora solo se necesita observar como varia la posición del robot respecto al eje (x, y) si se alteran las velocidades, para ello existen otras cuatro ecuaciones que se pueden utilizar:

$$ICC = [x - Rsen(\theta), y + Rcos(\theta)]$$

$$(x') = [cos(\omega\delta t), -sin(\omega\delta t), 0][x - ICC_x] + [ICC_x]$$

$$(y') = [sen(\omega\delta t), cos(\omega\delta t), 0][y - ICC_y] + [ICC_y]$$

$$(\theta') = [0, 0, 1][\theta] + [\omega\delta t]$$

La primera ecuación se utiliza para averiguar el centro de rotación respecto al eje que se escogió, la segunda y la tercera se utilizan para averiguar la posición final del robot en el plano cartesiano y la última para averiguar la dirección final del robot. Si utilizamos el punto (0, 0) como el punto inicial, 0° como el grado inicial y 0 segundos como el t inicial, se simplifican las ecuaciones de arriba y se obtienen simulaciones más fluidas. Finalmente, cuando se termina de despejar la matriz con los valores estipulados anteriormente, el ICC tendrá un valor de (0, R), y entonces la matriz se definirá de la siguiente forma:

$$(x', y', \theta) = (Rsen(\omega\delta t), R - Rcos(\omega\delta t), \omega\delta t)$$

Y con eso ya se tiene todo lo que se necesita para averiguar la posición y dirección final del vehículo a partir de las velocidades tangenciales de las ruedas.

7. Estado del arte

Actualmente las simulaciones de motores en automóviles no son "populares" por así decirlo, o al menos no son un programa o una necesidad de la gente común y no hay forma de pensar que lo sea, pues hay muy poca gente que de verdad necesita saber cuanta energía eléctrica necesita para que su motor empuje un automóvil a cierta dirección. Sin embargo, podemos pensar en la minoría que si utiliza dicha tecnología, por ejemplo, las fábricas de automóviles, ciertos ingenieros en laboratorios que desarrollan vehículos eléctricos, e incluso alguna persona que desee simplemente tener el dato a mano, las razones varían pero todos tienen algo en común, necesitan la simulación. Hoy en día se puede navegar en Internet en busca de un simulador de este tipo. Entre los más usados encontramos:

7.1. HEV Simulator

Este simulador, desarrollado por la "Wayne State University", permite al usuario obtener datos acerca de carros híbridos en tiempo real a partir del modelo seleccionado. El simulador cuenta con una interfaz clara y ordenada, aparte, otorga una gran variedad de datos entre. Entre ellos, otorga la velocidad actual del vehículo, RPM, la temperatura de la batería, la cantidad de combustible en el vehículo, entre otros. La interfaz en sí consiste en una ventana la cual pregunta el modelo del motor del vehículo híbrido, luego puedes escoger configurar el vehículo, o simular lo que ya está predeterminado. A continuación el usuario escoge la potencia en Kilowatts del motor, la capacidad de la batería, el peso del, el área frontal y la forma de la carrocería del vehículo. Cabe señalar que en el artículo de la universidad se encuentran ciertos datos predeterminados por si el usuario desconoce los datos del motor o de la batería. Finalmente, cambia a una ventana en la cual el usuario puede observar los datos ya mencionados, además de poder cambiar la aceleración del vehículo o de los frenos como desee; o incluso, la distancia que desea recorrer.

7.2. Electric Bike Simulator

A pesar de ser un simulador de bicicletas y no de automóviles en sí, el concepto es el mismo y se puede aprender varias cosas de este simulador. Podemos observar que, aunque la interfaz no sea muy simple, no obliga al usuario a tener muchos conocimientos para poder usarla. En sí consiste de una serie de barras las cuales aumenta o disminuyen de izquierda a derecha o de derecha a izquierda respectivamente, y lo más importante, tiene un simulador de la bicicleta 2D en tiempo real. Esto nos permite estimar que tan rápido se está moviendo la bicicleta con solo ver la simulación, pero también cuenta con los datos al lado izquierdo

de la rueda girando.

8. Manual de Usuario

En el presente manual de usuario se indica todo lo necesario, con imágenes descriptivas, para instalar, ejecutar, y usar MotorSIM en su distribución de GNU/Linux.

8.1. Instalación

La mayoría de distribuciones de Linux ya incluyen *Python* en sus repositorios por defecto, pero nunca está demás revisar que se encuentre correctamente instalado.

Después de haberse asegurado de lo anterior, siga los siguientes pasos para poder hacer uso de los simuladores:

- Descargue la carpeta comprimida (en formato .tar.gz) con el nombre "Simulador"que contiene los archivos correspondientes.
- Descomprimala, escribiendo el comando ***tar -xvf Simulador.tar.gz*** en alguna terminal de Linux.
- Asegúrese que los archivos dentro de esta carpeta tengan permisos de ejecución.

8.2. Ejecución

- Vaya al directorio correspondiente donde está ubicada la carpeta "Simulador". De no haberla movido de lugar el directorio debería ser: **/home/user/Download/Simulador** .

  Nota: Las simulaciones vienen en dos archivos separados, los cuales deben ser ejecutados por aparte. El ejecutable del carro mecanum se llama: **main.py** y el del carro diferencial se llama **mainDiferencial.py**.

- Ejecute el simulador deseado escribiendo: ***./main.py*** o ***./mainDiferencial.py*** en la terminal. O bien, ejecutando primeramente ***ipython*** y luego corriendo el archivo (**run main.py**)

- Le aparecerá una bienvenida al programa de simulación e inmediatamente se le solicitarán los datos sobre los motores de la ruedas (Se parte asumiendo que todos los motores de las ruedas poseen las mismas características).

8.3. Aplicación

- Ingrese las entradas correspondiente al radio y longitud del rotor, al campo magnético constante que producen los imanes fijos, y por ultimo la *constante de motor*.
- Instantáneamente el simulador calcula el flujo magnético en el motor, ya que se va a necesitar este dato más adelante para poder describir la velocidad angular del rotor.
- Ingrese los datos correspondientes a su carro mecanum o diferencial según lo requiera. Para el mecanum se le solicitará el radio de las ruedas, ancho y largo del carro.
- Ingrese los voltajes o tensiones eléctricas inducidas en cada uno de los motores.
- Por último, digite los ciclos en el motor. Entiéndase como el tiempo que desea que el motor esté operando (1 ciclo aprox. 1 segundo).
- El simulador le mostrará la velocidad angular constante con la que está girando el rotor en cada instante de tiempo. Seguido de los datos que describen el movimiento que ha hecho el carro seleccionado a partir las variables ingresadas en pasos anteriores.
- El programa le lanza una pregunta de afirmación o negación(y/n). Si desea graficar este único movimiento, digite ***n*** y se le presentará la gráfica correspondiente.
- Si desea seguir describiendo más movimientos digite ***y*** y la simulación se reiniciará desde el ingreso de los voltajes inducidos, ya que de ello depende el movimiento y orientación de las ruedas. Ingrese nuevos datos de voltaje y un nuevo ciclo de tiempo.
- Continúe de la misma manera hasta que ya haya descrito todos los movimientos deseados en el simulador.
- En el momento en que usted ya no continúe describiendo mas movimientos, el mismo programa le abrirá automáticamente una interfaz amigable, donde se muestran graficados todos los movimientos que se ingresaron al simulador.

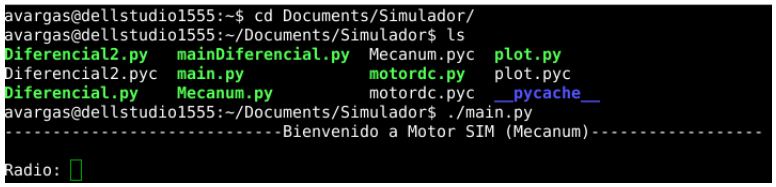
  Nota: Se recomienda cuidado a la hora de introducir los valores que el software solicita para realizar las simulaciones, ya que por el momento solamente acepta valores enteros o decimales.

8.4. Ejemplo con imágenes

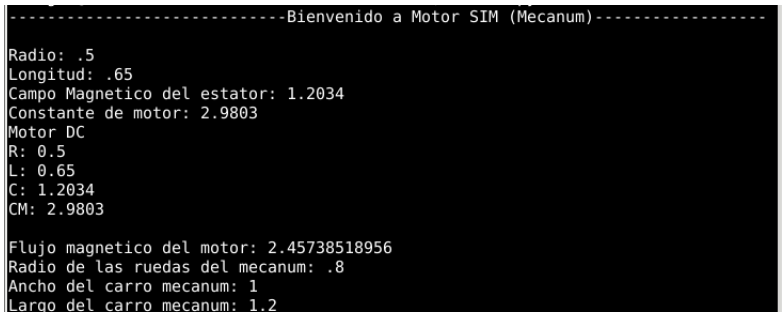
A continuación se presenta un ejemplo de una simulación que se realizó como prueba para describir varios movimientos consecutivos de un carro mecanum. Se pretendía lograr

que el carro mecanum avanzara primero de manera horizontal, luego a un ángulo de 45 grados y por último de manera vertical. Se puede apreciar, al final del ejemplo, que se logró que el carro se moviera de tal manera.

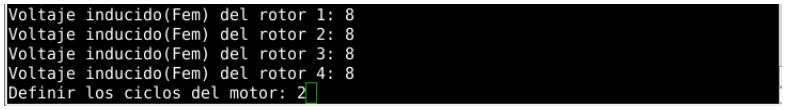
- **Cambiando al directorio correcto y ejecutando el archivo correspondiente**:



- **Ingresando los datos del motor, se calcula el flujo magnético, se ingresan los datos del carro**:



- **Introduciendo los voltajes respectivos al primer movimiento simulado y los el tiempo de operación del motor(ciclos)**:



- **Justo después el programa empezará a devolver las velocidades angulares en cada uno de los motores, se ve que se mantiene constante conforme pasa el tiempo y que termina en el tiempo que se especificó. Seguidamente da los datos resultantes del carro mecanum**:

```
Segundo = 1.99994182587
Velocidad Angular: 0 1.09233730996
Velocidad Angular: 1 1.09233730996
Velocidad Angular: 2 1.09233730996
Velocidad Angular: 3 1.09233730996
Segundo = 1.99998188019
Velocidad Angular: 0 1.09233730996
Velocidad Angular: 1 1.09233730996
Velocidad Angular: 2 1.09233730996
Velocidad Angular: 3 1.09233730996
Segundo = 2.00002288818
Velocidad Angular: 0 1.09233730996
Velocidad Angular: 1 1.09233730996
Velocidad Angular: 2 1.09233730996
Velocidad Angular: 3 1.09233730996
[ Carro mecanum ]
Lx: 1.0
Ly: 1.2
R: 0.8
W: 0.0
Vx: 0.873869847966
Vy: 0.0
W1: 1.09233730996
W2: 1.09233730996
W3: 1.09233730996
W4 1.09233730996

Angulo=0.0
(0, 0, 1.7477596972248501, 0.0)
Desea continuar [y/n]:
```

- **Se continúa con una segunda simulación ingresando *y* a la pregunta; se ingresan voltajes nuevos**:

```
Desea continuar [y/n]: y
Voltaje inducido(Fem) del rotor 1: 0
Voltaje inducido(Fem) del rotor 2: 12
Voltaje inducido(Fem) del rotor 3: 12
Voltaje inducido(Fem) del rotor 4: 0
Definir los ciclos del motor: 2
```

- **Resultados de la segunda simulación**:

```
Segundo = 2.00001192093
Velocidad Angular: 0 0.0
Velocidad Angular: 1 1.63850596494
Velocidad Angular: 2 1.63850596494
Velocidad Angular: 3 0.0
[ Carro mecanum ]
Lx: 1.0
Ly: 1.2
R: 0.8
W: 0.0
Vx: 0.655402385974
Vy: 0.655402385974
W1: 0.0
W2: 1.63850596494
W3: 1.63850596494
W4 0.0

Angulo=45.0
(1.7599075661812935, 0.0, 3.070720151135073, 1.3108125849537797)
Desea continuar [y/n]:
```

- **Tercera simulación, diferentes voltajes**:

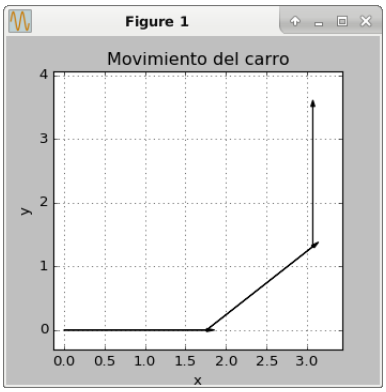
```
Desea continuar [y/n]: y
Voltaje inducido(Fem) del rotor 1: -10
Voltaje inducido(Fem) del rotor 2: 10
Voltaje inducido(Fem) del rotor 3: 10
Voltaje inducido(Fem) del rotor 4: -10
Definir los ciclos del motor: 2
```

- **Resultados de la tercera simulación**:

```
Segundo = 2.01508522034
Velocidad Angular: 0 -1.36542163745
Velocidad Angular: 1 1.36542163745
Velocidad Angular: 2 1.36542163745
Velocidad Angular: 3 -1.36542163745
[ Carro mecanum ]
Lx: 1.0
Ly: 1.2
R: 0.8
W: 0.0
Vx: 0.0
Vy: 1.09233730996
W1: -1.36542163745
W2: 1.36542163745
W3: 1.36542163745
W4 -1.36542163745

Angulo=90.0
(3.070720151135073, 1.3108125849537797, 3.070720151135073, 3.51196535387088)
Desea continuar [y/n]:
```

- **Al responder *n* para no continuar simulando, automáticamente se abre la herramienta *matplotlib* y se muestra la gráfica correspondiente al movimiento del carro**:



- **Al cerrar la interfaz de la gráfica el simulador se cierra. Para realizar otra simulación diferente vuelva a empezar el proceso.**

9. Conclusiones

En conclusión, se obtuvieron varios resultados óptimos con respecto a la investigación. Se cumplieron todos los objetivos propuestos. Se logró crear un método de simulación efectivo y funcional, el cual permite ver los cambios de posición de un vehículo, a partir de la potencia de sus motores.

Se logró acoplar el método de simulación del motor DC con los modelos de los carros diferencial y mecanum, lo cual a su vez nos permitió juntar dos proyectos en uno solo. Por otro lado, la graficación del recorrido del vehículo a partir de los datos generados por el motor en la simulación fue un éxito, ya sea en el mecanum o en el diferencial. Los gráficos permiten observar detalladamente el movimiento de los carros en un plano de dos dimensiones.

A pesar de que se intentó utilizar el método "Yarp" para facilitar y acortar ciertos procesos, lamentablemente no se logró usar dicho método debido a la falta de información disponible del mismo. La mayoría de la documentación oficial de Yarp se encuentra para el lenguaje de programación C++, sin embargo, se piensa mejorar este aspecto ya que usar inter-conectores integrados de Python no es óptimo. Estos obligan a definir varios métodos extra que tienen más posibilidades de fallar, además que pueden llegar a incumplir con el orden y la simplicidad del programa.

El proyecto no se encuentra finalizado y aún existen aspectos que se pueden optimizar, entre ellos, el uso de Yarp y la posibilidad de crear una simulación aún más clara que los movimientos en el plano cartesiano. Pensando en grande, lo ideal y más agradable a la vista sería una simulación 3D. También se pretende integrar una interfaz gráfica amigable al usuario, que esté confeccionada de tal manera que los datos puedan ser manipulados y/o cambiados sin necesidad de volver a ejecutar el programa. Está demás mencionar que es importante la corrección de ciertas pulgas mínimas que pueden hacer que el simulador se caiga, esto con el fin de darle más cuerpo al software.

A parte de estos nuevos objetivos simplemente se desea mejorar el programa para así lograr que el mismo se vuelva útil para algún usuario que deseé realizar pruebas de alguno de estos dos módulos de manera rápida y sencilla. Es por esta razón que se mantiene una postura de Open Source, donde cualquier interesado, puede continuar el proyecto con el fin de mejorarlo o ajustarlo a sus propias necesidades.

10. Anexos

10.1. Cronograma

Cronograma de actividades del proyecto:

	Fecha	**Actividad**	**Participantes/Notas**
1	2 al 10 de abril	Popuesta de proyecto	Borrador para revisión
2	11 al 17 de abril	Selección de herramientas de desarrollo	Python, Git
3	11 de abril al 1 de mayo	Aprendizaje de lenguaje de programación (clases)	
4	11 al 17 de abril	Definir ecuaciones necesarias y variables a utilizar motor DC	Aaron Sibaja, Andres Vargas
5	11 al 17 de abril	Definir ecuaciones necesarias y variables a utilizar motor diferencial y mecanum	Alberto Barrantes , Alejandro Cedeño
6	18 al 24 de abril	Módulo de motor DC	Alejandro Cedeño, Andres Vargas
7	18 al 24 de abril	Módulo de Carro Diferencial	Alberto Barrantes, Andres Vargas
8	25 de abril al 1 de mayo	Módulo de Carro Mecanum	Alejandro Cedeño, Aaron Sibaja
9	25 de abril al 1 de mayo	Documentación: Manual técnico, Manual de usuario	Alberto Barrantes, Aaron Sibaja
10	25 de abril al 1 de mayo	Acoplamiento de módulos, comprobación de funcionalidad y confección de la presentación	
11	2 al 6 de mayo	Presentación del proyecto con demostración de funcionalidad	

Referencias

[1] Gregory Dudek, Michael Jenkin. (2010). Computational Principles of Mobile Robotics. Montreal: Cambridge University Press.

[2] Hamid Taheri, Bing Qiao, Nurallah Ghaeminezhad. (3 marzo de 2015). Kinematic Model of a Four Mecanum Wheeled Mobile Robot. International Journal of Computer Applications, 113, 9. Extraído el miércoles 6 de abril de 2016 de la direccion $web : http : //research.ijcaonline.org/volume113/number3/pxc3901586.pdf$

[3] Ian McInerney. Simplistic Control of Mecanum Drive. FRC Team 2022. Recuperado el viernes 8 de abril de 2016 del sitio web: $http : //thinktank.wpi.edu/resources/346/ControllingMecanumDrive.pdf$

[4] Nkgatho Tlale, Mark de Villiers. (2008). Kinematics and Dynamics Modelling of a Mecanum Wheeled Mobile Platform. Council for Scientific and Industrial Research Pretoria, RSA. Recuperado el viernes 8 de abril de 2016 del sitio web: $http : //researchspace.csir.co.za/dspace/bitstream/Tlale2_2008.pdf$

[5] Stephen J. Chapman. (2012). Máquinas Eléctricas. 5ta edición. México, D.F. McGraw-Hill.