

S. M. Reyes-Márquez A01636161

J. J. Reyes-Gutiérrez A01630762

L. M. Zambrano-Gamiño A01630766

R. Tommasi-Hernández A01632098

Instituto Tecnológico de Monterrey Campus Guadalajara

a01636161@itesm.mx

a01630762@itesm.mx

a01630766@itesm.mx

a01632098@itesm.mx

Resumen - La problemática a atender es la escasez de personal médico en México debido a la pandemia mundial del COVID-19. A continuación se documenta la investigación y proceso de la realización de un robot que provea a pacientes enfermos con medicamentos y alimentos. Este artículo se enfoca en los circuitos electrónicos que lo conforman, así como las ecuaciones de la navegación del robot por medio de un robot diferencial, cálculos de un monitor de voltaje y su consumo de energía.

I. INTRODUCCIÓN

La pandemia de COVID-19 ha llevado a los países a dedicar mayores recursos y esfuerzos a los servicios de salud. Mientras los gobiernos actúan para frenar la propagación del virus, los trabajadores de la salud, están en la primera línea de la epidemia. Ante esta crisis, es reconfortante saber que estos trabajadores están ahí para administrar tratamiento y dar diagnósticos. Sin embargo, dado que más de la mitad de la población mundial carece de acceso a la atención médica esencial, ¿qué sucede cuando no hay suficientes médicos, enfermeras y personal de apoyo?

La problemática que el proyecto pretende resolver es la alta exposición del personal médico con el virus COVID-19. Se pretende resolverla por medio de un robot AGV monitoreado a distancia por el personal médico. El desarrollo de vehículos guiados automatizados juega un papel importante en las industrias de ingeniería para mejorar la técnica de manejo de materiales durante los últimos años. En este documento, se presenta un vehículo guiado automatizado (AGV) enfocado a la electrónica que se requiere para el desarrollo de dicho robot y las ecuaciones que lo describen. El resto del artículo está organizado como sigue. En la sección II se presenta un breve marco teórico. En la sección III el desarrollo del proyecto. Y finalmente, en las secciones IV y V se presentan los resultados y conclusiones.

II. SISTEMAS ELECTRÓNICOS

A. Modelo de Robot Diferencial

Muchos robots móviles utilizan un mecanismo de accionamiento conocido como modelo del robot

diferencial. Dicho robot consta de 2 ruedas motrices montadas en un eje común, y cada rueda puede ser conducida independientemente hacia adelante o hacia atrás. En las figuras (1) y (2) podemos observar un modelo de variables del robot diferenciales.

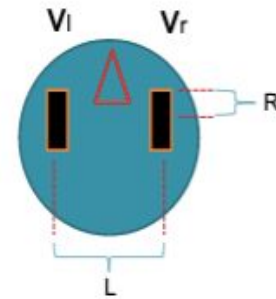


Figura 1: Modelo representativo robot diferencial.

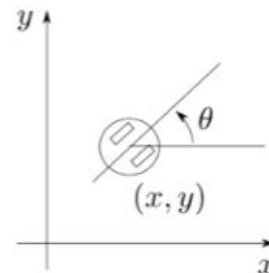


Figura 2: Modelo representativo robot diferencial en el plano XY.

Si bien podemos variar la velocidad de cada rueda, para que el robot realice un movimiento de traslación, el robot se debe mover alrededor de un punto que se encuentra al centro de sus ejes comunes de rueda izquierda y derecha. El punto sobre el cual el robot gira se conoce como centro de curvatura instantáneo (ICC). Al variar las velocidades de las dos ruedas, podemos variar las trayectorias que toma el robot. Debido a que la tasa de rotación ω sobre el ICC debe ser la misma para ambas ruedas, podemos escribir las siguientes ecuaciones:

$$\frac{2v + \omega L}{2R} = v_r \quad (1)$$

$$\frac{2v - \omega L}{2R} = v_l \quad (2)$$

Donde v_r es la velocidad lineal de la rueda derecha, v_l la velocidad de la rueda izquierda, ω la velocidad angular del vehículo, L la longitud que hay de la rueda derecha con respecto a la izquierda y R el radio de las llantas.

Además, podemos determinar la velocidad angular del robot a partir de que sabemos que $\omega = \frac{V}{R}$ que es la ecuación general de la velocidad angular. Sin embargo, en este caso, sabemos que la velocidad lineal del robot depende de la velocidad de v_l y v_r y el radio de giro del robot depende del radio de las ruedas y la longitud, $\frac{R}{L}$ [1]. Lo que nos resulta en la siguiente ecuación.

$$\frac{R(v_r - v_l)}{L} = \omega \quad (3)$$

Con base a estas 3 ecuaciones, podemos diseñar un circuito que modele la navegación de nuestro robot.

B. Monitor de Voltaje

El monitoreo actual se ha vuelto más simple debido a la disponibilidad de circuitos integrados dedicados y resulta cada vez más importante monitorear las baterías de sistemas esenciales en componentes complejos. Los circuitos integrados de monitoreo de corriente están fácilmente disponibles y en la mayoría de las circunstancias hacen un excelente trabajo, al igual que varios amplificadores de instrumentación, por lo que construir un monitor de corriente usando dispositivos discretos puede parecer redundante, sin embargo, hay circunstancias en las que un circuito que usa componentes discretos puede ser el mejor enfoque especialmente si se pueden utilizar piezas de bajo voltaje fácilmente disponibles.

El circuito en esta propuesta está conformado por un arreglo de transistores y diodos zener que permiten regular el voltaje de nuestra batería. Es por eso que es importante conocer conceptos básicos de diodos zener y transistores.

El diodo Zener se comporta como un diodo normal de propósito general que consiste en una unión PN de silicio y cuando está polarizado en la dirección directa, es decir, un ánodo positivo con respecto a su cátodo, se comporta como un diodo de señal normal que pasa la corriente nominal.

El diodo Zener se utiliza en su "polarización inversa" o modo de ruptura inversa, es decir, el ánodo de diodos se conecta al suministro negativo. De la curva observada en la figura (3), podemos ver que el diodo Zener tiene una región en sus características de polarización inversa de casi un voltaje negativo constante independientemente del valor de la corriente que fluye a través del diodo [2].

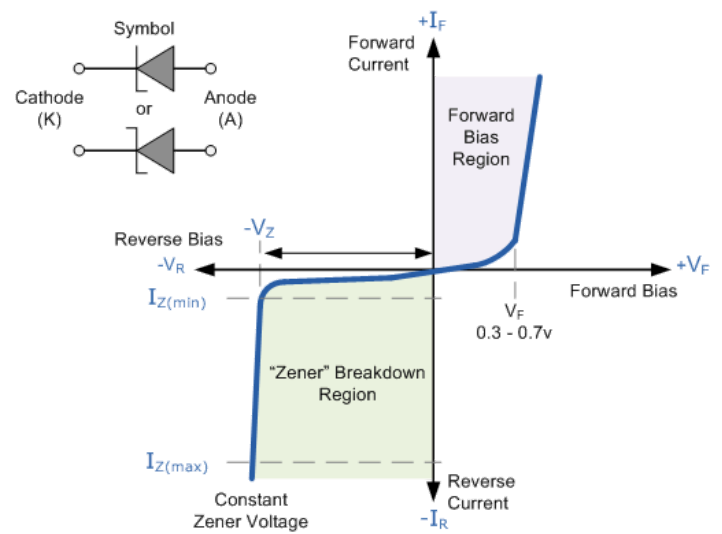


Figura 3: Curva de características I-V del diodo [2].

Un transistor PNP es un componente con un material de tipo n dopado con dos materiales de tipo p. El transistor PNP tiene dos diodos de cristal conectados espalda con espalda. El lado izquierdo del diodo se conoce como diodo base emisor y el lado derecho del diodo se conoce como diodo base colector [3].

El símbolo del transistor PNP se muestra en la siguiente figura (4).

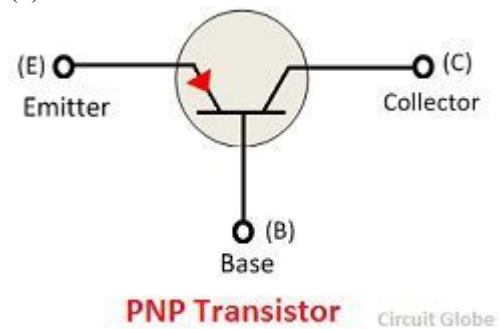


Figura 4: Esquemático de un transistor PNP [3].

C. Consumo de Energía y Simulación de Batería

El consumo de energía medido en vatios (generalmente en milivatios, mW) es el término correcto para aplicaciones de baja potencia, pero con demasiada frecuencia se usa en su lugar el consumo de corriente medido en amperios (generalmente miliamperios, mA). La potencia es fácil de calcular, pero se vuelve más complicado de estimar cuando se usan baterías que se descargan y el voltaje cambia con el tiempo y las condiciones de carga [6].

Para esta aplicación escogimos una batería de 36 voltios. Simular la descarga de las baterías no es tan trivial como podría parecer, existen muchos modelos de simulación de descarga pero escogimos una versión mejorada del modelo de Shepherd [4]. Las características principales de éste modelo son las mismas que las del modelo original de Shepherd, es decir, que el estado de carga depende de parámetros internos de la batería, que las curvas de carga y descarga se modelizan usando la misma ecuación, que es la siguiente [5]:

$$E = E_0 - K \frac{Q}{Q-it} - R * i + A * e^{-B*it} \quad (4)$$

Siendo, E la tensión sin carga en voltios, E_0 la constante de voltaje de la batería en voltios, K el voltaje de polarización también en voltios, Q la capacidad de la batería en amperios hora, it el estado de carga instantáneo en ampere hora, A el voltaje del inicio de la zona exponencial en voltios, B el inverso de la constante de tiempo de la zona exponencial en voltios, R la resistencia interna en ohms, y finalmente i siendo la intensidad instantánea en amperes [5].

III. SIMULACIÓN DE SISTEMAS EN SIMULINK

Pensando en el diseño de un robot funcional que sea capaz de atender a la resolución del problema, realizamos modelos apoyándonos de la herramienta de SimuLink que nos ayudara a condensar nuestro proyecto en una plataforma.

Con la finalidad de tener una mejor visualización tanto como del panorama general como el específico, se realizaron bloques y subconjuntos donde se representan algunas de las partes del proyecto. Estos bloques se presentan a continuación.

En la figura (5) se muestra un diagrama de la integración de todos los sistemas. En la parte superior podemos observar los bloques funcionales que modelan el robot diferencial, seguido de eso, mostramos el bloque de la simulación de la batería, el monitor de voltaje y el modelo del consumo de corriente que es principalmente, las resistencias equivalentes a elementos de nuestro robot. Cada subsistema será explicado a mayor detalle a continuación.

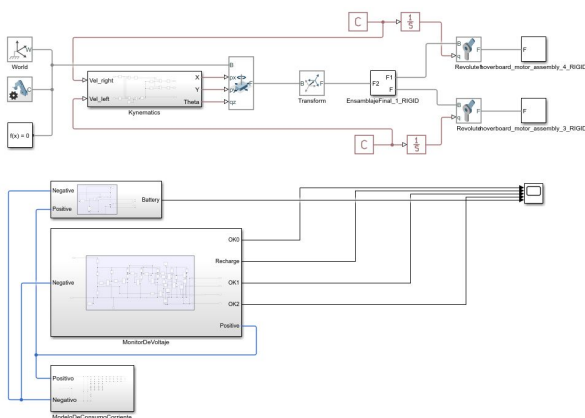


Figura 5: Integración de sistemas electrónicos.
Véase en Anexo 1.

En la figura (6) se muestran la aplicación a manera de bloques de las ecuaciones de cinemática del robot diferencial en figura (11) que consta de una importación de un modelo de CAD realizado en SolidWorks. El diseño tiene consideraciones mecánicas de fuerza y elemento finito que nos permite asegurar que nuestros motores serán capaces de mover el robot y también nos permite asegurar que es un modelo estable. En cuanto a la implementación del movimiento, se puede observar en el bloque de

cinemática que las ecuaciones (1) y (2) son aplicadas al sistema donde las velocidades de las ruedas son las entradas del subsistema y sus salidas la posición en coordenadas X y Y así como su ángulo de posición θ . Además, como mencionado con anterioridad, se tuvo que establecer un punto medio entre los dos motores como origen, simplemente se tuvo que ajustar el vector de rotación con un bloque de transformación. El robot es capaz de avanzar hacia adelante, atrás y hacer un movimiento circular basado en las ecuaciones de cinemática.

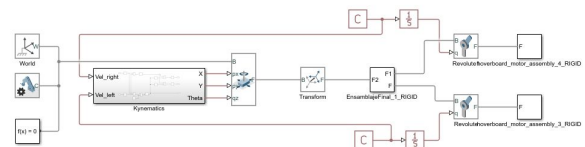


Figura 6: Robot diferencial.
Véase en Anexo 2.

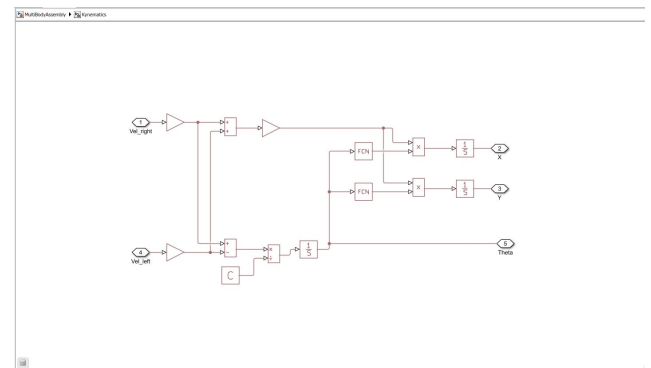


Figura 11: Cinemática
Véase en Anexo 3.

En las figuras (7) y (8) mostramos la simulación de la batería integrando el bloque de función de Matlab donde modelamos la ecuación (4) del modelo mejorada de Shepherd. La función tiene como entradas la corriente acumulada (u) y la corriente instantánea (i) y la salida del voltaje instantáneo de la batería.

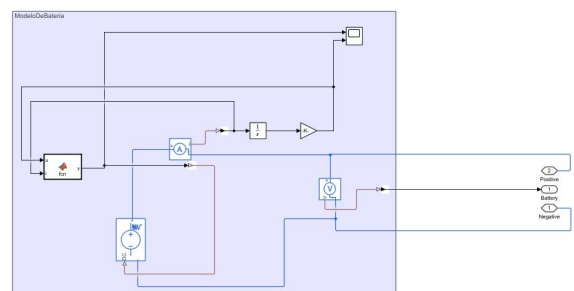


Figura 7: Simulación de Batería.
Véase en Anexo 4.

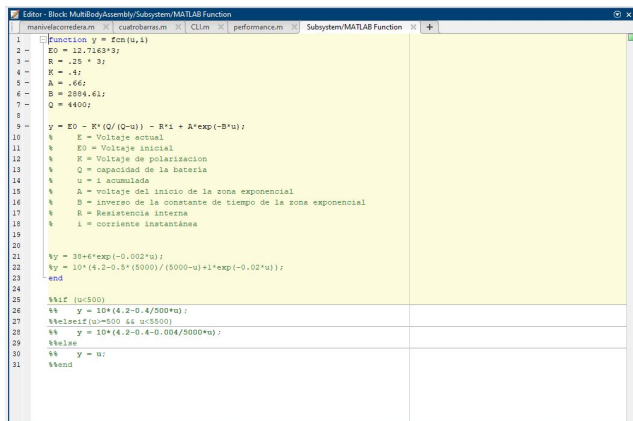


Figura 8: Función de MatLab
Véase en Anexo 5.

En la figura (9) podemos ver el bloque del monitor de voltaje. Este monitor consta de 4 fases, que representan la descarga de la batería. Los valores de las resistencias y transistores dependen de las siguientes ecuaciones (5) y (6).

Corriente máxima en el colector:

$$I_{max\ C} = \frac{V_{ZENER}}{R_{BASE}} \quad (5)$$

donde el voltaje es el considerado para el diodo Zener presente y la resistencia es aquella en la base del transistor.

Corriente en la base del transistor:

$$I_B = \frac{I_c}{h_{FE}} \quad (6)$$

donde se considera la corriente del colector del transistor y h_{FE} es la constante también conocida como β que es simplemente la relación entre la corriente de colector I_C y la corriente de base I_B , o sea, cuantas veces es mayor la primera que la segunda.

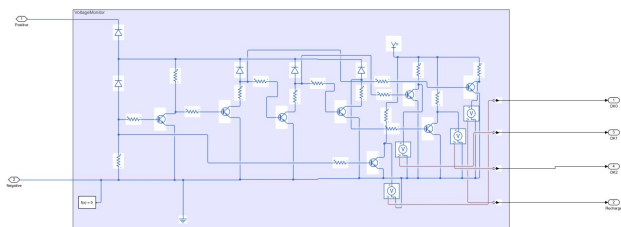


Figura 9: Monitor de Voltaje.
Véase en Anexo 6.

De esta manera para cada uno de los transistores, resolvemos con las ecuaciones de sus correspondientes resistencias y voltajes. Con base a las ecuaciones y los valores de las resistencias, los transistores que están en serie conducen y representan un 1 en lógica, y los que están en paralelo no conducen cuando el transistor inicial están en 1. Cuando el transistor inicial no conduce, el voltaje en paralelo es conducido directamente a los circuitos en paralelo. Debido a los valores de diodos Zener podemos comparar los valores del voltaje y corriente que

corre por esas mallas. Por medio de este simple circuito somos capaces de “convertir” las etapas de voltaje que existe en la batería en unos lógicos para poder desplegarlos en una interfaz de usuario, asemejando la descarga de la batería de un celular de 4 barras. La primera salida se prende en un voltaje de 36.3, la segunda a uno de 35.8, la tercera a 35.4 y la última en un voltaje de 35, que es un estado de alarma de recarga.

Finalmente, en la figura (10) tenemos una representación de un circuito de resistencias en paralelo que simulan los componentes del proyecto tales como motores de 36V y 130 rpm, sensores de temperatura ZTP-135SR, ultrasónicos HC-SR04, un puente H L298N Dual, cámaras térmicas, el celular y sensores infrarrojos E18-D80NK. Integramos unos diodos Zener para poder regular el voltaje inicial de 36 volts [4].

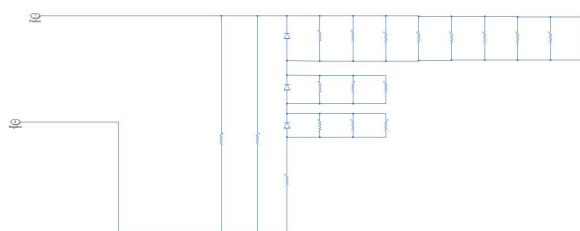
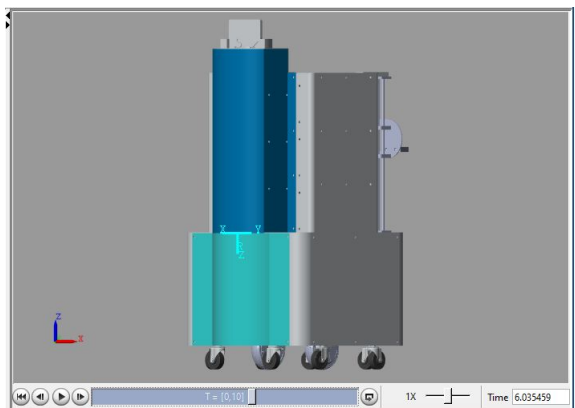
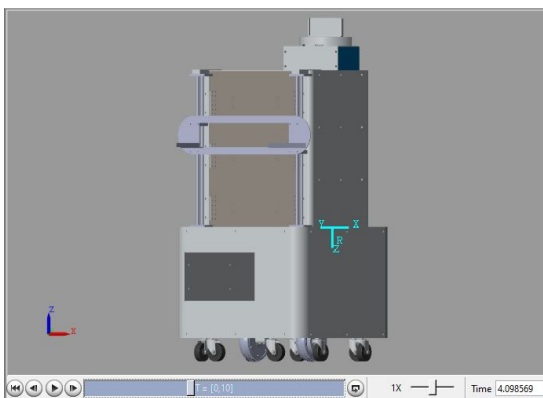
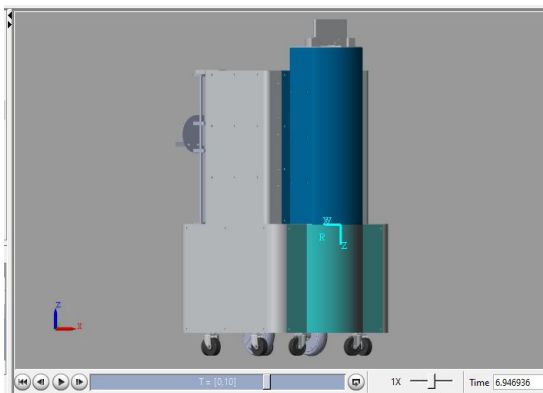
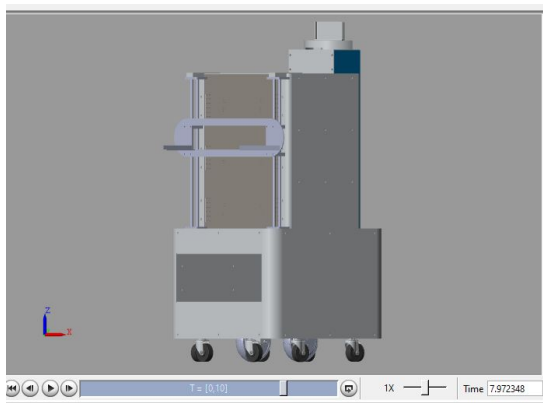


Figura 10: Consumo de corriente.
Véase en Anexo 7.

IV. RESULTADOS

Resolviendo las fórmulas e integrando los subsistemas con los bloques, conseguimos simular el movimiento del robot diferencial como se muestran las imágenes (11) (12) (13) (14) y (15), resultando en el modelo en CAD mostrado. La simulación en video se puede observar en la siguiente liga www.algo.mx. Si las constantes de los modelos (C) se cambian en ambas ruedas a 2π y -2π podemos controlar el movimiento del robot para que gire sobre su mismo eje. Si dejamos dichas constantes con una velocidad constante en ambas ruedas el robot avanza en línea recta. Y con una velocidad negativa el robot retrocede. Este modelo es interesante ya que posteriormente nos ayudará a hacer que las velocidades de ambas llantas dependan directamente del consumo de voltaje o corriente que existe en la batería.



Figuras 11, 12, 13, 14 y 15: Simulación de diseño de CAD.

Finalmente, el modelo del consumo de energía es caracterizado por el modelo de la batería. Gracias a estas ecuaciones y simulaciones se realizó una grafica voltaje vs tiempo, en figura 16, donde la curva superior representa el consumo de la batería, y las curvas subsecuentes que representan los niveles de voltaje en los cuales se muestra las señales preventivas que anuncian el nivel de descarga

de la batería. Como podemos observar, se tiene un gran margen de error de voltaje con respecto a la batería, ya que contrario a los modelos comunes este cuenta con 4 filtros, donde el último de ellos representa el punto crítico en el cual la descarga de la batería comprometería a la electrónica del sistema.

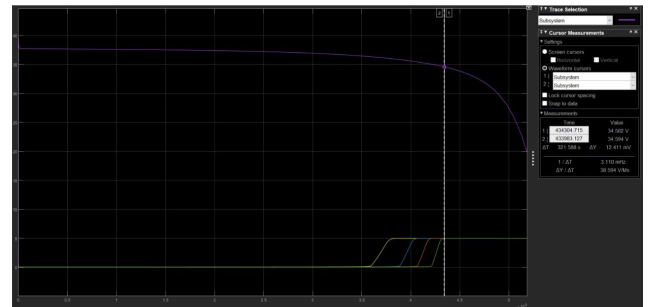


Figura 16: Grafica Voltaje vs Tiempo.
Véase en Anexo 8.

V. CONCLUSIONES

A lo largo de este documento se definió el diseño de un sistema electrónico de un robot capaz de brindar la posibilidad de tener una noción del estado de la batería del robot, brindar información a los motores que le permitan al robot navegar por el hospital, hasta los cuartos y camas de los pacientes. Con la ayuda de herramientas como MatLab, SimuLink y Multisim, se logró crear esquemas, bloques funcionales, donde se definieron los subsistemas principales de navegación por medio del robot diferencial, monitoreo de descarga de la batería y simulación del consumo de energía y batería. Este modelo está planeado para ser implementado en una escala 1:1, sin embargo, nosotros sólo seremos capaces de construir un prototipo a escala que nos permita comprobar el modelo y funcionamiento de las capacidades básicas del robot tales como sensado, navegación y correcto manejo de datos con una interfaz para el usuario.

Para lograr mejoras en el modelo, sería necesario hacer las pruebas de los subsistemas en tamaño natural para poder comprobar la teoría de nuestro diseño y considerar cosas como fallas por fricción, desgaste por el paso del tiempo y sistemas de seguridad que no comprometan los componentes electrónicos, y caracterizaciones de elementos que sólo pueden seguir conseguidas de forma experimental y práctica. En la siguiente iteración del diseño, se buscará encontrar una relación entre el consumo de corriente que obtenemos de nuestro monitor de voltaje y convertirlo en velocidad para los motores y de esta manera semejar de manera más cercana a la realidad, la velocidad real de nuestros motores y por consecuencia movimiento a lazo abierto.

REFERENCIAS

- [1] University, C. (2010, September). Mobile Robot Kinematics. Retrieved November 01, 2020, from <https://www.usna.edu/Users/cs/crabbe/SI475/current/mob-kin/mobkin.pdf>

[2] Tutorials, E. (2020, March 30). Zener Diode as Voltage Regulator Tutorial. Retrieved November 02, 2020, from https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_7.html

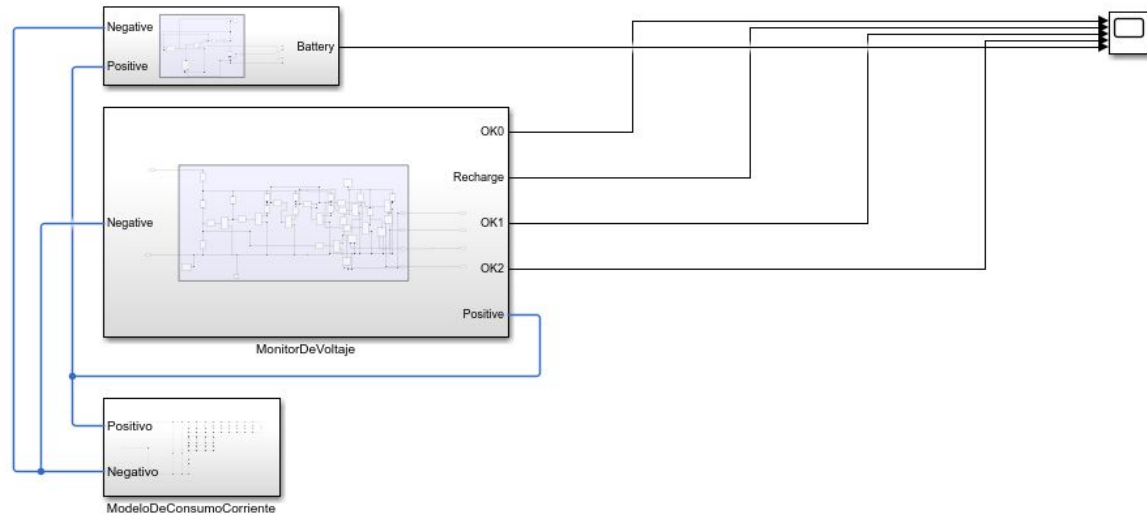
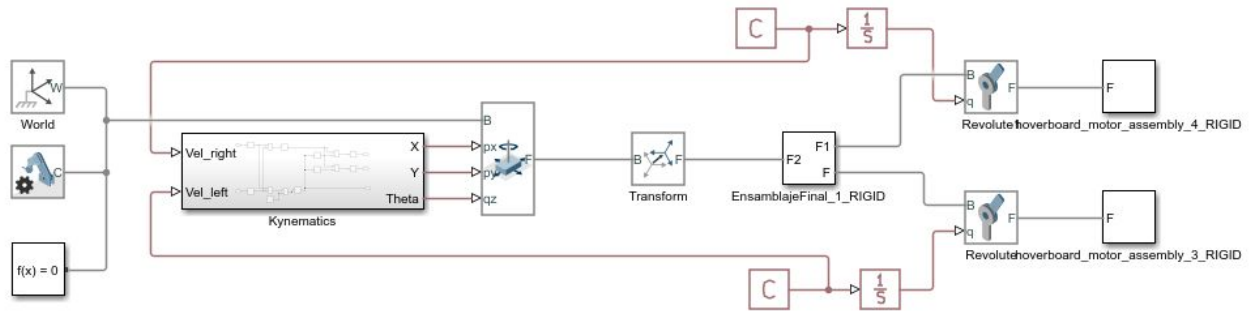
[3] Yi-O'Kelly, S. (2020, August 10). High-voltage current sensing with low-voltage transistors. Retrieved November 02, 2020, from <https://www.edn.com/high-voltage-current-sensing-with-low-voltage-transistors/>

[4] Kastnes, P. (2020, July 29). Power consumption explained. Retrieved November 02, 2020, from <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/power-consumption-explained>

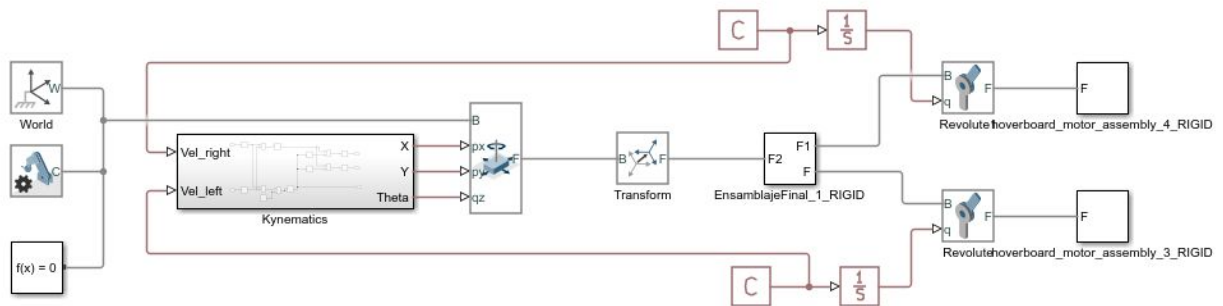
[5] Jaume, M. (2017, April). Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas. Retrieved November 01, 2020, from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/104855/TFG_Jaume_Martinez_Metodos_de_estimacion_del_estado_de_carga_de_baterias_electroquimicas.pdf

[6] E. (n.d.). Rechargeable Li-Ion Battery For Scooter 2 Wheels with 20 cells and PCB board inside. Retrieved November 01, 2020, from <http://vi.raptor.ebaydesc.com/ws/eBayISAPI.dll?ViewItemDescV4&item=392950751371&category=48619±=1&ds=0&t=1604280265206>

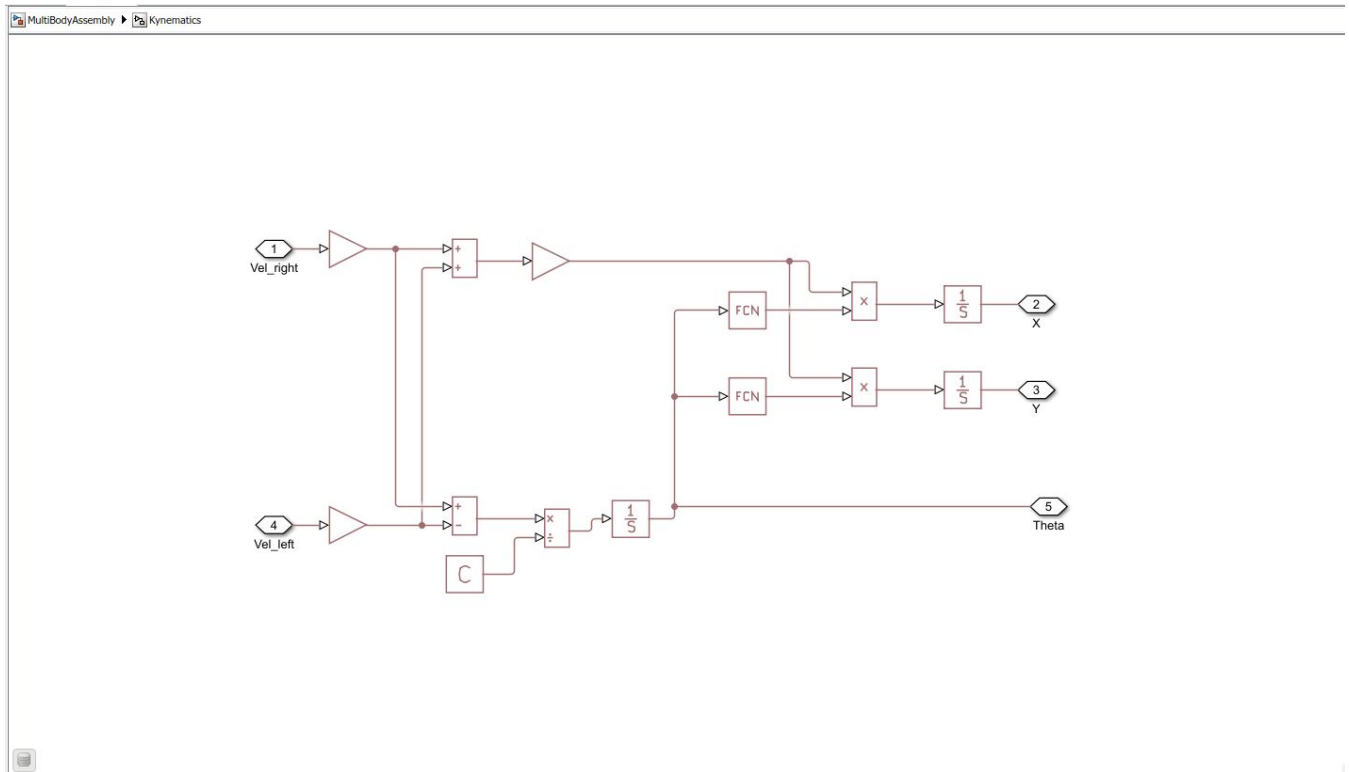
Anexos :



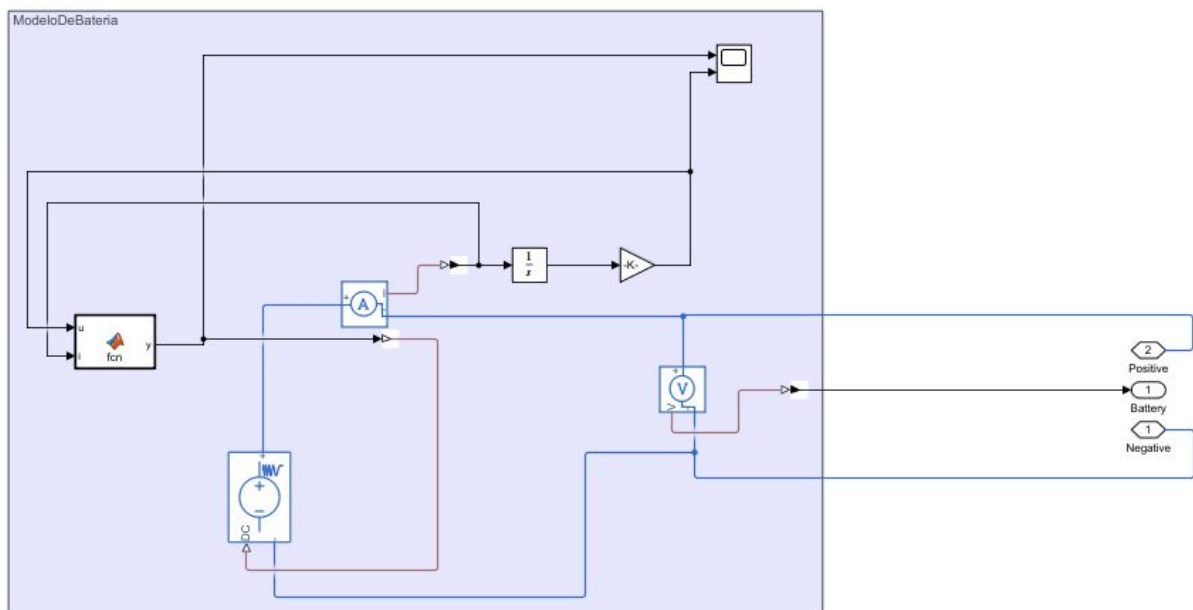
Anexo 1: Sistema de integración.



Anexo 2: Robot Diferencial.



Anexo 3: Cinemática del robot diferencial.



Anexo 4: Batería .

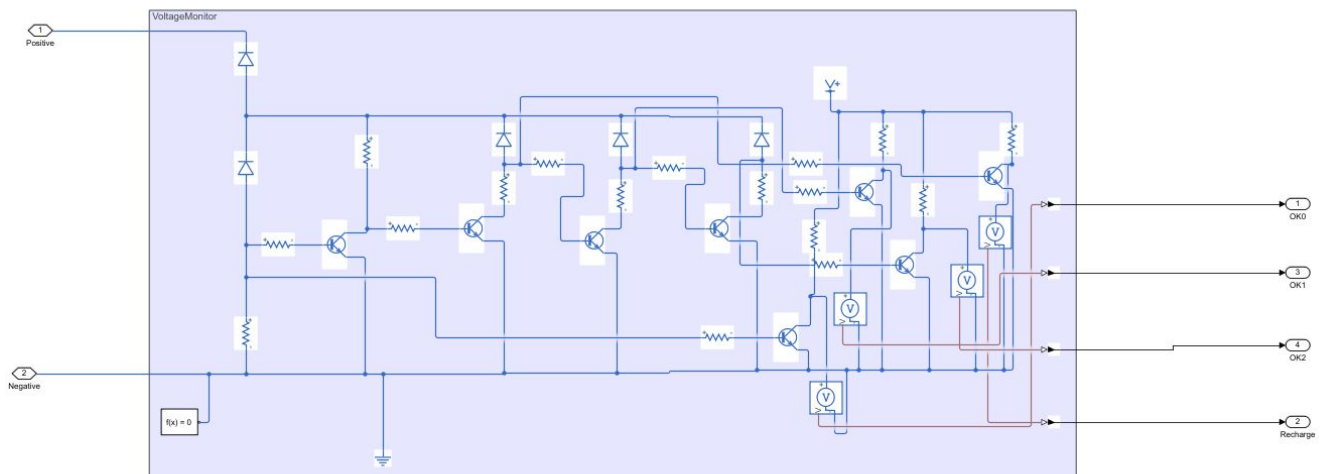

```

Editor - Block: MultiBodyAssembly/Subsystem/MATLAB Function
manivelacorredera.m  cuatrobarras.m  CLI.m  performance.m  Subsystem/MATLAB Function  +

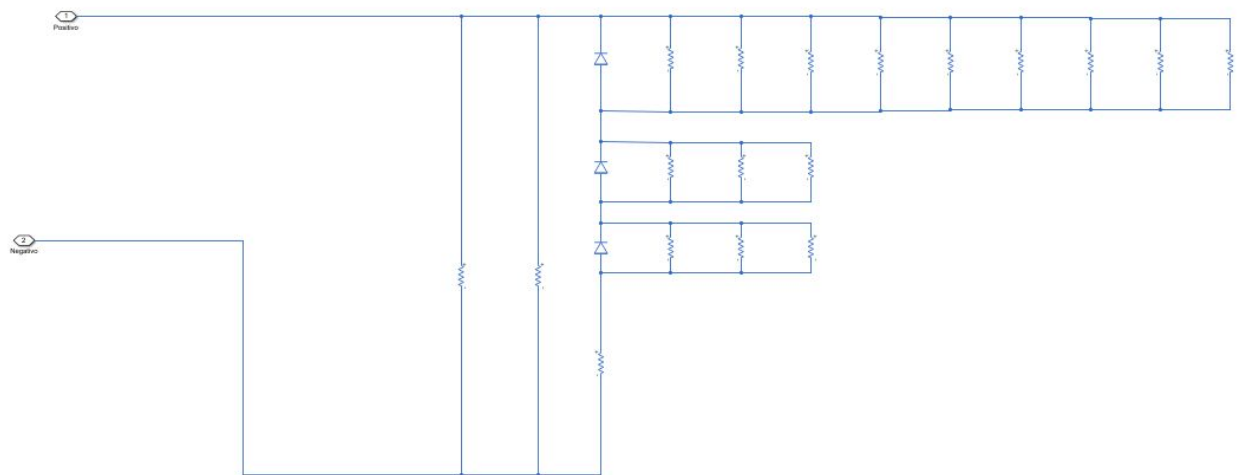
1  function y = fcn(u,i)
2  E0 = 12.7163*3;
3  R = .25 * 3;
4  K = .4;
5  A = .66;
6  B = 2884.61;
7  Q = 4400;
8
9  y = E0 - K*(Q/(Q-u)) - R*i + A*exp(-B*u);
10 % E = Voltaje actual
11 % E0 = Voltaje inicial
12 % K = Voltaje de polarizacion
13 % Q = capacidad de la bateria
14 % u = i acumulada
15 % A = voltaje del inicio de la zona exponencial
16 % B = inverso de la constante de tiempo de la zona exponencial
17 % R = Resistencia interna
18 % i = corriente instantánea
19
20
21 %y = 38+6*exp(-0.002*u);
22 %y = 10*(4.2-0.5*(5000)/(5000-u)+1*exp(-0.02*u));
23 end
24
25 %%if (u<500)
26 %% y = 10*(4.2-0.4/500*u);
27 %elseif(u>=500 && u<5500)
28 %% y = 10*(4.2-0.4-0.004/5000*u);
29 %else
30 %% y = u;
31 %end

```

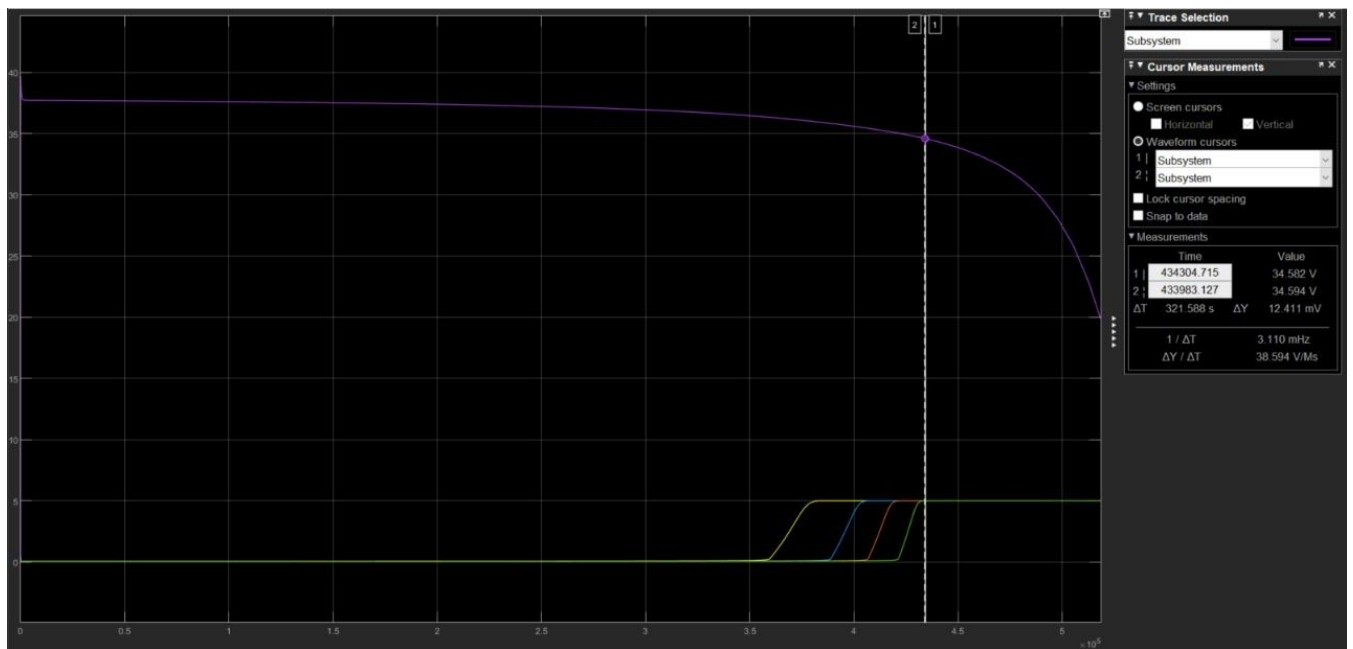
Anexo 5 : Función de MatLab.



Anexo 6: Monitor de Voltaje.



Anexo 6: Consumo de corriente.



Anexo 7: Gráfica Voltaje vs Tiempo.